PETROLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN JUNGER VULKANITE IN SÜDKOLUMBIEN

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Naturwissenschaften
der Geowissenschaftlichen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität Tübingen

vorgelegt von
Cornelia Schmitt
aus Darmstadt-Eberstadt

1983

REFO-DRUCK HANS VOGLER TÜBINGEN

PETROLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN JUNGER VULKANITE IN SÜDKOLUMBIEN

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Naturwissenschaften
der Geowissenschaftlichen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität Tübingen

vorgelegt von
Cornelia Schmitt
aus Darmstadt-Eberstadt

1983

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Tag der mündlichen Prüfung: 8. März 1983
Dekan: Professor Dr. G. Kohlhepp
1. Berichterstatter: Professor Dr. H. Pichler
2. Berichterstatter: Professor Dr. P. Metz

INHALTSVERZEICHNIS I
ZUSAMMENFASSUNG IV
0. Vorwort 1
1. Einleitung 1
1.1 Ältere Arbeiten 1
1.2 Problemstellung 2
1.3 Geographischer und geologischer Überblick 2
1.3.1 Geographischer Überblick 2
1.3.2 Geologischer Überblick 4
1.3.2.1 Vereinfachte geochronologische Übersicht 4
1.3.2.2 Wichtige geotektonische Ereignisse 7
2. Beschreibung der Vulkane beziehungsweise der Vulkangebiete 7
2.1 Der Vulkan Puracé 7
2.2 Der Vulkan Pan de Azúcar 8
2.3 Die Vulkan-Reihe der Coconucos 8
2.4 Der Merenberg-Vulkan 11
2.5 Das Isnos-Acevedo-Vulkangebiet 11
2.6 Das Vulkangebiet östlich Popayan 12
2.7 Das Vulkangebiet westlich Popayan 12
2.8 Der Vulkan Sotará 14
2.9 Der Vulkan Doña Juana 15
2.10 Das Vulkangebiet östlich Pasto 15
2.11 Der Vulkan Azufral de Túquerres 16
2.12 Der Vulkan Nevado de Cumbal 16
2.13 Der Vulkan Chiles 18
3. Probennahme 19
4. Megaskopische und mikroskopische Charakterisierung der jungen Vulkanite 26
4.1 Megaskopische Beschreibung typischer Proben 26
4.2 Mikroskopische Charakterisierung 38
4.2.1 Das Gefügebild der jungen Vulkanite 38
4.2.2 Mikroskopische Beschreibung der wichtigsten Vulkanit-Typen unter Verwendung der Universal-Drehtisch-Messungen und Modal-Analysen 40
4.2.3 Zusammenfassende Beschreibung der Charakteristika der gesteinsbildenden Minerale 61

4.2.3.1 Helle Minerale 61
4.2.3.2 Dunkle Minerale 64
4.2.3.3 Akzessorische Minerale 69
4.2.4 Der Mineralbestand aller untersuchten Vulkanit-Proben 72
4.2.5 Ergebnisse der Modal-Analysen 79
4.2.6 Ergebnisse der Universal-Drehtisch-Messungen 83
5. Gesteins- und Mineral-Analysen 86
5.1 Gesteins-Analysen 86
5.2 Mineral-Analysen 108
5.2.1 Mineral- und Glas-Analysen mit der Mikrosonde 108
5.2.1.1 Obsidian-Glas 108
5.2.1.2 Cristobalit 108
5.2.1.3 Alkalifeldspat 110
5.2.1.4 Plagioklas 111
5.2.1.5 Biotit 119
5.2.1.6 "Hornblende" 122
5.2.1.7 Pyroxen 127
5.2.1.8 Olivin 133
5.2.1.9 Ergebnisse der Mineral-Analysen 136
5.2.2 Röntgenographische Untersuchung der "Sphärolithe" der Alkalifeldspat-Rhyolithe 137
6. Diagrammatische Darstellung und Auswertung der Daten 138
6.1 Verteilung der chemischen Elemente im Vergleich der einzelnen Vulkane und Vulkangebiete 138
6.1.1 Haupt- und Nebenelemente 138
6.1.2 Spurenelemente 153
6.1.2.1 Die K-Gruppe: Rb, Cs, Ba und Sr 153
6.1.2.2 Die Th-Gruppe 153
6.1.2.3 Die Ti-Gruppe: Zr, Hf und Ta 153
6.1.2.4 Die "siderophile" Gruppe: Co, Cr und Sc 157
6.1.2.5 Die chalkophile Gruppe: Zn 159
6.1.3 Die Elemente der Seltenen Erden 159

6.2 Kristallisationsfolge der wichtigsten Magmentypen 163
6.2.1 Alkalifeldspatrhyolith 163
6.2.2 Dacit 164
6.2.3 Quarz-Latiandesit 164
6.2.4 Quarz-Andesit 165
6.2.5 Quarz-normativer Tholeiit-Hawaiit 166
6.2.6 Alkaliolivinbasalt 166
6.2.7 Mafitischer Olivin-Nephelinit 166
6.3 Magmendifferentiation 167
6.3.1 Die kalkalkalinen Vulkanite 167
6.3.2 Die alkalinen Gesteine 170
6.3.3 Die alkalirhyolithischen Gesteine 171
6.4 Magmengenese 171
6.4.1 Die alkalirhyolithischen Vulkanite 172
6.4.2 Die kalkalkalinen Vulkanite 172
6.4.2.1 Theorien der Entstehung "andesitischer" Magmen 172
6.4.2.2 Das "Andesit-Problem" in Südkolumbien 179
6.4.3 Die alkalinen Vulkanite 181
6.4.4 Die rhyodacitische Lava aus dem Vulkangebiet E Pasto 184
7. Vergleich mit anderen jungen Vulkanit-Serien Süd- und Zentral-Amerikas sowie Mexikos 185
7.1 Junge Vulkanit-Serien Süd-Amerikas 185
7.1.1 Ecuador 185
7.1.2 Peru 185
7.1.3 Bolivien 191
7.1.4 Chile 191
7.1.5 Argentinien 191
7.2 Junge Vulkanit-Serien Zentral-Amerikas und Mexikos 191
8. Literaturverzeichnis 198

Zusammenfassung

1. Aus dem südkolumbischen Staatsgebiet wurden von insgesamt 13 verschiedenen Förderzentren 132 Proben entnommen.
2. Das megaskopische Erscheinungsbild und der daraus ableitbare Fördermechanismus wird beschrieben.
3. Der Mineralbestand wurde polarisationsmikroskopisch festgestellt, die quantitative Verteilung der Phänokristalle sowie die Verteilung der mikrokristallinen bis glasigen Grundmasse wurde anhand des Pointcounter-Verfahrens an 33 Proben untersucht.
4. Die mittels der Elektronenstrahl-Mikrosonde festgestellte Zusammensetzung der Mineralphasen steht im Einklang mit den auf dem Universaldrehtisch ermittelten Daten.
5. Röntgenographisch wurden die Sphärolithe der ignimbritischen Alkalirhyolithe auf ihre Mineralphasen hin untersucht. Dabei ergaben sich die Minerale Tief-Cristobalit und (K, Ca)-Analbit.
6. Von den insgesamt 132 Proben wurden 90 auf ihren Haupt- und Nebenelement- und 36 Proben auf ihren Spurenelement- und REE-Gehalt hin untersucht.
7. Es wurde eine Reihe von Diagrammen zur Darstellung geochemischer Sachverhalte angefertigt, wobei sich herausstellte, daß sich nur wenige graphische Darstellungsmethoden für die überwiegend kalkalkalinen südkolumbischen "Kontinentalrand-Andesite" eignen. Es handelt sich hierbei um das QAPF-Doppeldreieck, das K_2O - SiO_2 - Diagramm nach PECCERILLO & TAYLOR, das Sippendiagramm Alk gegen SiO_2, die Darstellung der Spurenelement-Gehalte gegen K_2O, das GOTTINI-RITTMANN-Diagramm, das AFM-Dreieck und das Diagramm Rb gegen Sr. Alle anderen Darstellungsmethoden besitzen nur geringe bis überhaupt keine Aussagekraft über das Problem der Magmendifferentiation beziehungsweise der Magmengenese.
8. Es wurden anhand bekannter Phasendiagramme die möglichen Druck-Temperatur-Bedingungen während der Kristallisation der Mineralphasen und der Eruption ermittelt.
9. Es wurden rechnerische Differentiationsmodelle sowie Modelle einer partiellen Aufschmelzung von Mantelmaterial an den wichtigsten Vertretern der Vulkan-Komplexe beziehungsweise Vulkangebiete durchgeführt.

10. Die geochemischen Daten lassen die Zuordnung zu drei verschiedenen Arten der Magmengenese zu:
    1. partielle Anatexis von sialischem Krustenmaterial (Alkalifeldspat-Rhyolithe);
    2. partielle naße Aufschmelzung von subduzierter ozeanischer Kruste (kalkalkaline Vulkanite);
    3. partielle Aufschmelzung von Mantelmaterial (alkaline Vulkanite).
11. Letztlich wurde ein Vergleich mit den jungen Vulkaniten Süd- und Zentral-Amerikas durchgeführt, wobei sich eine weitgehende Übereinstimmung der "Kontinentalrand-Vulkanite" ergab.

0. Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Mitarbeit in dem von Prof. Dr. H. PICHLER geleiteten Forschungsprogramm "Junger Vulkanismus in Süd-Kolumbien", das von der DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT finanziell unterstützt wurde. Der DFG danke ich für die Realisierung meines Forschungsaufenthaltes in Süd-Kolumbien.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Hans PICHLER, Tübingen, für sein Interesse und seine Unterstützung beim Fortgang dieser Arbeit.

Weiterhin danke ich:

Herrn Prof. Dr. P. K. HÖRMANN, Kiel, für die Gewährung eines Arbeitsplatzes im Geochemischen Labor des Mineralogisch-Petrographischen Institutes der Universität Kiel und für die Durchführung weiterer 23 Haupt- und Nebenelement-Analysen;
Herrn Dr. F. SCHLEY, Hahn-Meitner-Institut Berlin, für die Anfertigung von 35 Spurenelement-Analysen und Analysen der Elemente der Seltenen Erden;
Herrn D. MANGLIERS, Tübingen, für die Unterstützung bei der Ausführung von Mikrosonden-Analysen;
Herrn Dr. S. KROONENBERG, Bogotà, für die Überlassung wertvollen Probenmaterials;
Herrn Dr. R. STENGELIN für seine Mithilfe bei der Computer-Berechnung der RITTMANN- und der CIPW-Norm;
Herrn J. MÄLLICH für die Anfertigung zahlreicher Dünnschliffe;
Frau Ch. EISENHARDT für die Unterstützung bei den Fotoarbeiten;
Herrn Dipl.-Min. M. PFLEGHAAR für die Überlassung von Auszügen aus seiner Promotionsarbeit;
den Herren M. GOTTSCHALK und W. HUMMEL für die Erstellung von Computerprogrammen.

1. Einleitung

1.1 Ältere Arbeiten

Schon am Anfang des 19. Jahrhunderts wurden erstmalig die jungen Vulkane Süd-Kolumbiens der Weltöffentlichkeit durch die berühmten Reisen Alexander von HUMBOLDT's (1809:258 f) nähergebracht. Ihm waren die beiden aktiven Vulkane von Popayan (Puracé) und Pasto (Galeras) aufgrund ihrer Solfataren-Tätigkeit aufgefallen.

Hiermit begann die Erforschung des bis dahin "unbekannten" Landes durch viele europäische Wissenschaftler.
Über Süd-Kolumbien, insbesondere die aktiven und jungen Vulkane sowie Vulkangebiete, existieren eine Reihe geographische und geologische Publikationen. So beschrieben BOUSSINGAULT & ROULIN (1849), REISS (1872), THIELMANN (1879), ZUJOVIC (1884), HETTNER (1893), STÜBEL (1902 und 1906), REISS (1921), CODAZZI (1926), FRIEDLAENDER (1927), WOLFF (1929), KEHRER (1939), OPPENHEIM (1950), WHITE (1955) und andere die geographischen und geologischen Phänomene einzelner känozoischer Vulkane.

Sehr viel seltener wurden petrographische Untersuchungen an den Gesteinen durchgeführt. Hier zeichneten sich in erster Linie KÜCH (1892) und BERGT (1899) aus, die das von REISS & STÜBEL in den Jahren 1886 bis 1889 gesammelte kolumbische Material in Berlin mikroskopisch untersuchten. Ihre Arbeiten stellen den ersten zusammenhängenden Vergleich der in Kolumbien auftretenden jungen Vulkanite dar. Danach folgten keine weiteren Arbeiten mit ähnlicher Themenstellung.
Weitere wichtige Publikationen, die sich mit speziellen geowissenschaftlichen Problemen Süd-Kolumbiens beschäftigen, werden in den folgenden Kapiteln, insbesondere im Kapitel 2, zitiert.

1.2 Problemstellung

Betrachtet man die bis heute veröffentlichten Arbeiten über den jungen Vulkanismus in Süd-Kolumbien, so zeigt sich, daß dieser zwar Ende des letzten und Anfang dieses Jahrhunderts großes Interesse erregte, doch anschließend schienen diese Vulkane in Vergessenheit geraten zu sein.
Erst in den letzten Jahren bemüht sich die kolumbische Republik um eine genaue topographische, geologische und petrographische Erforschung ihrer Vulkangebiete, die vor allem durch die Kolumbianer selbst, aber auch von Europäern, Japanern und Amerikanern vorangetrieben wird.
Da außer KÜCH (1892) und BERGT (1899) niemand einen Vergleich der jungen Vulkangebiete durchführte (HANTKE & PARODI stellten 1966 lediglich eine Datensammlung aus alten Arbeiten über die aktiven Vulkane zusammen), blieben bis heute viele Fragen bezüglich der Magmengenese und der Zuordnung der jungen Vulkanite offen.
Um diese Frage zu klären, ist ein Vergleich der südkolumbischen Vulkangebiete mit denen Südamerikas, des transmexikanischen Vulkangürtels sowie weiterer Orogengebiete dringend erforderlich.
Aus diesen Gesichtspunkten heraus stellte sich das Thema dieser Arbeit: " Petrologische Untersuchungen junger Vulkanite in Südkolumbien".

1.3 Geographischer und geologischer Überblick

1.3.1 Geographischer Überblick (Abb. 1)

Die Republik Kolumbien liegt im nördlichen Südamerika und ist mit 1 138 914 km^2 Fläche der 4. größte Staat des südamerikanischen Subkontinents (Abb. 1).
Mit einer Einwohnerzahl von ca. 27 729 897 (FOCHLER-HAUKE, 1981: 367) beträgt die durchschnittliche Besiedlungsdichte 24, 3 Einwohner je 1 km^2, wohingegen die Bundesrepublik Deutschland zum Vergleich 247,6 Einwohner je 1 km^2 (FOCHLER-HAUKE, 1981:254) aufweist.
Kolumbien grenzt im Norden an das Karibische Meer, im Nordosten an Venezuela, im Osten an Brasilien, im Süden an Perú und Ecuador, im Westen an den Pazifik und im Nordwesten an den mittelamerikanischen Staat Panama.
Die Hauptstadt der Republik ist Bogotà mit 4 079 848 Einwohnern.
Das Land selbst wird in fünf verschiedene geographische Bereiche eingeteilt (Abb. 1):
1. Küstenregion, Region del Pacifico
2. Region del Caribe
3. Region Andina

4. Region de los Llanos Orientales
5. Region Amazonica.

Die kolumbische Anden-Region (Region Andina) wird weiter unterteilt in (Abb. 2):

a) die West-Kordillere (Cordillera Occidental) mit den Vulkanen Chiles, Cumbal und Azufral de Túquerres,
b) den Graben des Río Cauca, der in 1100 bis 900 m Höhe liegt,
c) die Zentral-Kordillere (Cordillera Central), die die meisten erloschenen und aktiven Vulkane Kolumbiens aufweist, mit dem Huila (5750 m) als höchstem Gipfel,
d) den Grabenbruch des Magdalenatales, der in ca. 500 bis 300 m Höhe liegt und die ecuadorische Ost-Kordillere in die kolumbische Zentral- und Ost-Kordillere teilt,
e) die Ost-Kordillere (Cordillera Oriental) mit der Sierra Nevada del Cocuy (5495 m) als höchster Erhebung.

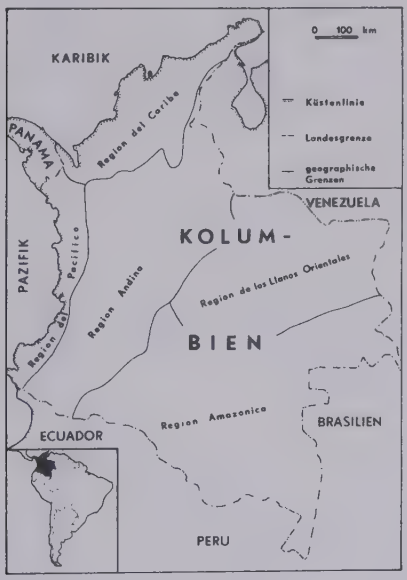


Abb. 1: Darstellung der verschiedenen geographischen Bereiche Kolumbiens.

1.3.2 Geologischer Überblick (Abb. 4)

1.3.2.1 Vereinfachte geochronologische Übersicht

Die geologische Erforschung Kolumbiens wurde in den letzten 20 Jahren, vor allem durch die Suche nach Erz- und Erdöllagerstätten weit vorangetrieben. Eine nahezu lückenlose Kartierung der auftretenden Systeme liegt zwar bis heute noch nicht vor, doch sind mit Sicherheit folgende Systeme nachgewiesen:

Präkambrium: die Gneise des Santa Marta-Massivs stellen die ältesten Gesteine Kolumbiens mit Rb-Sr-Altern von 1300 bis 1400 m. y. dar (MACDONALD & HURLEY, 1969:1870).

Kambrium und Ordovizium: mächtige Sediment-Serien und deren metamorphe Umwandlungsgesteine im Bereich der Ost- und der Zentral-Kordillere (ESTRADA, 1972:23 f), in den Llanos, im Tal des Río Magdalena und im Quetame-Massiv, sowie Plutonite im Garcon-Massiv.

Devon bis Perm: epikontinentale Ablagerungen im Devon und Perm im Bereich der Ost-Kordillere, die von Granit-Intrusionen im Floresta-Massiv durchbrochen werden, sowie unregelmäßige, marine und kontinentale Ablagerungen im Karbon.

Trias: kleine isolierte Vorkommen von triassischen Sedimenten längs der Interandinen Depression des Río Magdalena, im Santander-Massiv, im Cesar-Tal (hier auch Vulkanismus), in der Zentral-Kordillere, im NW des Santa Marta-Massivs und vereinzelt intrudierten Plutonite im Santander-Massiv.

Jura: kontinentale "Red-bed"-Ablagerungen längs der Ost-Kordillere und des Magdalenatales sowie Vulkanite und Plutonite westlich des Río Magdalena, Bildung der Dagua-Gruppe (Sedimente und Metamorphite) im Bereich der West-Kordillere.

Kreide: sedimentäre Beckenfüllungen im Bereich der Ost-Kordillere während zweier großer Transgressionen und Bildung des BIC (Basic Igneous Complex oder Diabas-Formation) in der West-Kordillere (Typlokalität Buga--Buenaventura, nahe Cali (NELSON, 1957 u.a.)). Die Zentral-Kordillere trennt die Miogeosynkline im Osten vom BIC-Becken im Westen. Sie besteht überwiegend aus sedimentären und schwach metamorphen Serien. Plutonite treten längs der Zentral-Kordillere, vor allem der Batholith von Antioquia, auf.

Tertiär und Quartär: das Känozoikum nimmt in Kolumbien den weitaus größten Teil der Oberfläche ein. Es ist gekennzeichnet durch die Bildung der känozoischen Molasse im Tal des Río Magdalena und dem perikratonischen Gebiet sowie durch die ausgedehnte Hebung der West-Kordillere, die das heutige interandine Cauca-Tal von der pazifischen Region abtrennt.
Es bildeten sich sedimentäre, metamorphe, plutonische und vor allem vulkanische Gesteine (Beginn des "andesitischen" Vulkanismus in der südlichen Zentral-Kordillere im mittleren Miozän); z. T. bis heute andauernder Vulkanismus (mindestens 30 kolumbische Vulkane, davon 7 mit historischen Ausbrüchen und 4 mit Fumarolentätigkeit (RAMIREZ, 1975:53)).

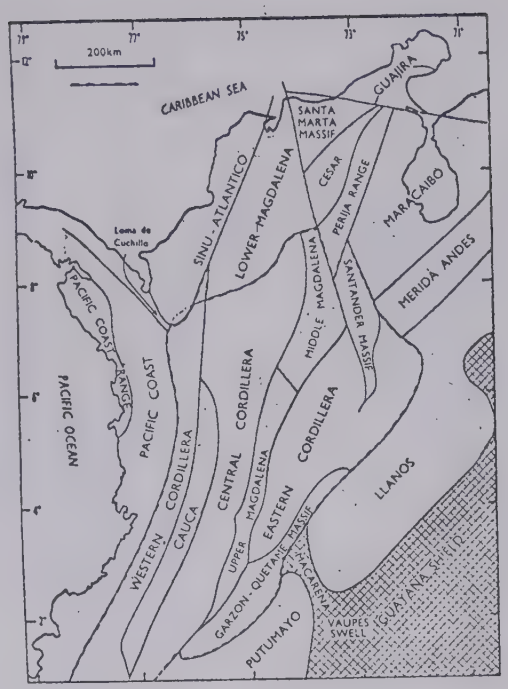


Abb. 2: Geologische Provinzen von Kolumbien (CAMPBELL, 1974:706).

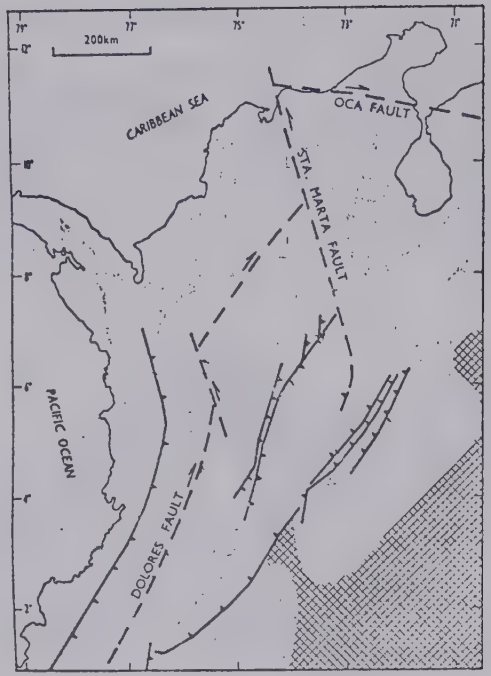


Abb. 3: Hauptverwerfungssysteme Kolumbiens (CAMPBELL, 1974:709);
— Überschiebungsverwerfungen
-- mögliche Blattverschiebungen

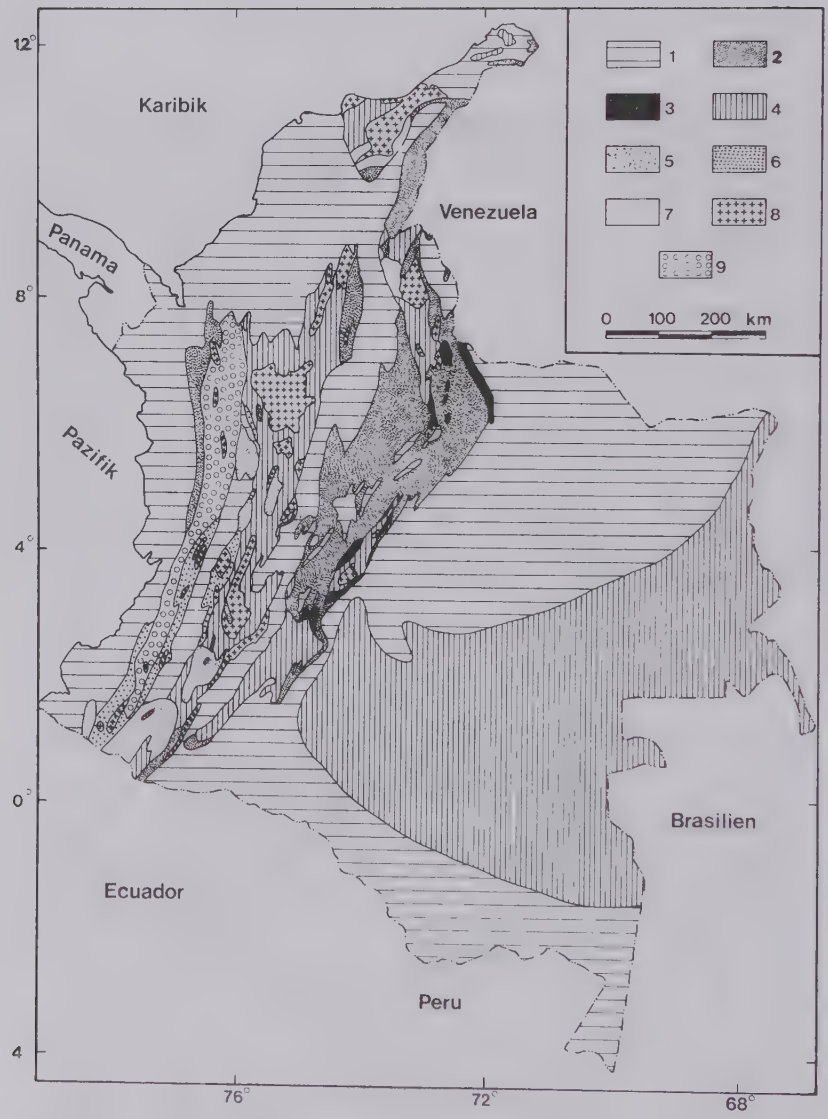


Abb. 4: Vereinfachte geologische Karte von Kolumbien:
1: Känozoikum, überwiegend Sedimente
2: Mesozoikum, überwiegend Sedimente
3: Paläozoikum, überwiegend Sedimente
4: Metamorphite, undifferenziert (ausschließlich Dagua-Gruppe)
5: Andesite und Basalte (Känozoikum)
6: Basic Igneous Complex (Kreidevulkanite, Diabas-Formation)
7: Rhyolithe und Rhyodacite (Känozoikum)
8: Intrusiva, undifferenziert
9: Dagua-Gruppe, überwiegend mesozoische Metamorphite.

1.3.2.2 Wichtige geotektonische Ereignisse

Hier soll nur kurz auf die großtektonischen Ereignisse in Kolumbien eingegangen werden. STIBANE (1967:629) faßt die Tektogenese der kolumbianischen Anden wie folgt zusammen:

"Am Westrand des algonkisch konsolidierten Guayana-Schildes legte sich im Kambrium eine Geosynklinale an, die um die Wende Ordovizium/Silur alpinotyp gefaltet wurde. Epi- bis mesozonal überprägte Gesteine dieser Epoche sind in der Zentral-, Ost-Kordillere und im W Venezuelas erhalten.
Das Gebirge durchlief in der Folgezeit eine postorogenetische Schollentektogenese. Ihr Beginn ist bereits im jüngeren Paläozoikum spürbar und hält bis in das Känozoikum an. Die Sedimentation bleibt im Paläozoikum (Devon - Perm) auf eine intramontane Senke beschränkt."

BÜRGL (1967:442 f) schreibt über die tektonischen Ereignisse folgendes:

"(A) Paleozoic: compressional movements, Caledonian and weaker Variscean orogenies, retreat of the sea, temporal consolidation of the east Andean province. The west Andean region remained ocean floor.
(B) Mesozoic: tensional fault movements, extrusion of alkaline magmas, break-down and remobilization of the east Andean province, advance of the sea to its Early Paleozoic extent.
(C) Cenozoic: new compressional movements, Andean orogeny, progressive retreat of the sea, reconsolidation of the east Andean province and incorporation of the west Andean province in the continent."

Die Richtungen der Hauptverwerfungssysteme sind der Abb. 3 zu entnehmen.

2. Beschreibung der Vulkane bzw. der Vulkangebiete (Abb. 5)

2.1 Der Vulkan Puracé (Abb. 5--7)

Vulkan-Typ: zusammengesetzter Stratovulkan

Geographische Lage: Kolumbien, Departemento Cauca
2°22' nördl. Breite (HANTKE & PARODI, 1966:8)
76°23' westl. Länge

Höhe ü. d. M.: 4590 m (OPPENHEIM, 1950:171)
4646 m (KURODA & PARIS, 1978:21)
4700 m (STÜBEL, 1906:7; RAMIREZ, 1975:47 und MURCIA et al., 1980:11)
4800 m (FLETCHER, 1977:89)
4910 m (FRIEDLAENDER, 1927 a:174)

Der Vulkan Puracé bildet die nördlichste Erhebung der Sierra Nevada de Coconucos und ist somit Teil der kolumbischen Zentral-Kordillere (Abb. 5). Der schon im Pliozän angelegte Vulkan ist bis heute tätig. Sein letzter Ausbruch war im Mai 1949, im Augenblick herrscht nur Fumarolentätigkeit (sie fiel schon HUMBOLDT, 1809:258 f im Bereich des Río Vinagre auf).
Der Puracé besitzt einen Hauptkrater mit ca. 500 m Durchmesser und einer Tiefe von 160 m und einen Parasitärkrater an seiner östlichen Flanke. Er erhebt sich ca. 2000 m über dem kristallinen Grundgebirge. Sein unterer Teil -bis 3800 m- besteht aus einem dacitischen Stratovulkan, darüber folgt ein Lockermaterial-Kegel aus quarz-latiandesitischem pyroklastischen Material und quarz-latiandesitischen Lavaströmen. An seiner NW-Seite und nahe dem Hauptkrater hat sich ein jüngerer Sommawall gebildet.

2.2 Der Vulkan Pan de Azúcar (Abb. 5 und 8)

Vulkan-Typ: Stratovulkan
Geographische Lage: Kolumbien, Departemento Cauca/Huila
2°12' nördl. Breite
76°20' westl. Länge
Höhe ü. d. M.: 4670 m (WOLFF, 1929:384 und FLETCHER, 1977:89)

Der nicht mehr tätige (?) Vulkan Pan de Azúcar bildet die zweithöchste Erhebung der Sierra Nevada de Coconucos. Sein regelmäßiger Kegel trägt dauernd eine Firnkappe (WOLFF, 1929:384).

2.3 Die Vulkan-Reihe der Coconucos (Abb. 5)

Vulkan-Typ: Stratovulkane
Geographische Lage: Kolumbien, Departemento Cauca/Huila
2°18' nördl. Breite
76°23' westl. Länge
Höhe ü. d. M.: 4500 m (FLETCHER, 1977:89)

Der höchste Vulkan der Coconucos bildet den dritthöchsten Kegel der Sierra Nevada de Coconucos und sie schließen sich südlich an den Vulkan Puracé (Abb. 5) an.

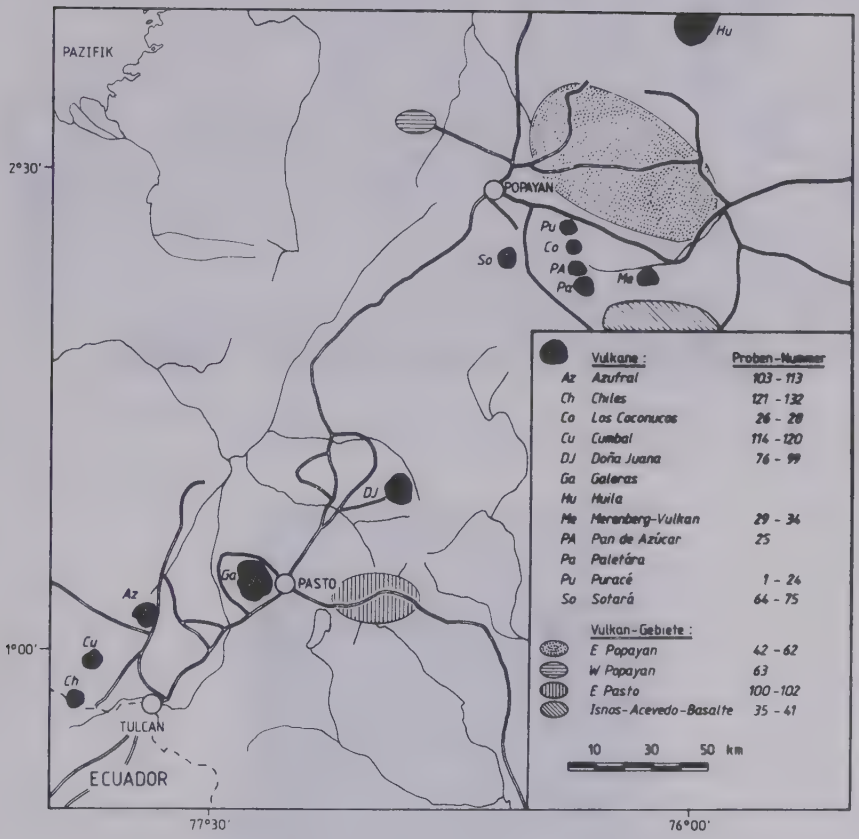


Abb. 5: Die wichtigsten jungen Vulkan-Gebiete und Vulkan-Komplexe Süd-Kolumbiens (schematisch).

Abb. 6: Der Aschenkegel des Puracé (aus STÜBEL, 1906: Taf. 17) mit sehr stark überhöhter Hangneigung (NW-Ansicht).

Abb. 7: Der tätige Vulkan Puracé 1981 (NW-Ansicht) (Foto: R. KILIAN).

2.4 Der Merenberg-Vulkan (Abb. 5)

Vulkan-Typ: Stratovulkan (?)
Geographische Lage: Kolumbien, Departemento Huila
2°12' nördl. Breite
76°13' westl. Länge
Höhe ü. d. M.: 2500 m (KROONENBERG et al., 1980)

Der erloschene Merenberg-Vulkan liegt ca. 16 km westlich La Argentina im Gebiet der Hacienda Merenberg im Tal des Río de la Plata. Er besitzt eine kleine Caldera mit ca. 1,5 km Durchmesser, die sumpfig und bewaldet ist. Nordöstlich und südöstlich finden sich einige "andesitische" Lavaströme (mit Olivin-Phänokristallen), die nach der Calderabildung ausgeflossen sind. Der Merenberg-Vulkan wird auch als möglicher Lieferant der Ignimbrite E Popayan angesehen (KROONENBERG et al., 1980).

2.5 Das Isnos-Acevedo-Vulkangebiet (Abb. 5)

Vulkangebiet mit zahlreichen Eruptionszentren
Geographische Lage: Kolumbien, Departemento Huila
1. 1°51' bis 1°56' nördl. Breite
76°19' bis 76°13' westl. Länge
2. 1°45' bis 1°49' nördl. Breite
75°58' bis 75°53' westl. Länge
Höhe ü. d. M.: 1. 1500 bis 2000 m (KROONENBERG et al., 1980)
2. 1500 m

1. die ca. 13 Eruptionszentren der San Agustín - San José de Isnos-Zone verlaufen geradlinig SW-NE. Alle Eruptionszentren besitzen an ihrer Basis einen Durchmesser von 1 bis 2 km und sind stark erodiert. Nur der Alto de la Horqueta, der Alto de los Idolos und ein Vulkan am Fußweg Primavera im SE von San José de Isnos zeigen Überreste der alten Kraterstrukturen, die einen Durchmesser von 400 m nicht überschreiten.
2. die Eruptionszentren um La Calle und Acevedo verlaufen ebenfalls geradlinig SW-NE und folgen somit dem Verlauf des Río Suaza.

Die "basaltischen" Laven wurden nach den Ignimbriten des Vulkangebietes E Popayan abgelagert (KROONENBERG et al., 1980). Ähnliche Laven wurden schon von KÜCH (1892:130) vom Cerro Campanero an der Laguna de la Cocha beschrieben. Berücksichtigt man den

geographischen Verlauf der Eruptionszentren, so ist ein genetischer Zusammenhang zwischen den "basaltischen" Laven von Isnos-Acevedo und denen des Cerro Campanero sehr wahrscheinlich.

2.6 Das Vulkangebiet östlich Popayan (E Popayan)(Abb. 5)

Ignimbrit-Plateau im SW des Huila-Vulkans
Erstreckung: ca. 1000 km^2 in den Tälern des Oberen Río Magdalena und des Río de la Plata;
Gefördertes Gesamtvolumen (überwiegend Ignimbrite): ca. 100 km^3
Geographische Lage: Kolumbien, Departemento Huila
Höhe ü. d. M.: 1400 bis 2500 m (KROONENBERG et al., 1980)

Es wurden vor allem Ignimbrite, seltener andere vulkanische Produkte wie Laven oder Lahar-Ablagerungen gefördert. KROONENBERG et al. (1980) teilt die plio- bis pleistozänen Ignimbrite in drei Gruppen ein:

1. geschichtete, sandige Ignimbrite
2. glasige Ignimbrite mit ausgelängten "Flammen"
3. gräulich-rosarote Ignimbrite mit seltenen "Flammen".

Die Eruptionszentren der "glowing avalanche deposits" sind bis jetzt noch unbekannt, doch kommen sowohl die Vulkane der Sierra Nevada de Coconucos, die Caldera des El Letrero als auch der Merenberg-Vulkan in Frage.
Die von mir bearbeiteten Ignimbrite und Laven des Vulkangebietes E Popayan (Abb. 5) stammen aus dem nördlichen Teil des von KROONENBERG et al. (1980) beschriebenen Ignimbrit-Plateaus (Abb.15: gepunktetes Gebiet) und aus dem vulkanischen Gebiet von Silvia und dem Río Coquiyó (schon von REISS, 1872:379 und von BERGT, 1899:129 erwähnt).

2.7 Das Vulkangebiet westlich Popayan (W Popayan)(Abb. 5)

Geographische Lage: Kolumbien, Departemento Cauca
2°43' nördl. Breite
76°48' westl. Länge
Höhe ü. d. M.: ca. 1700 m

Das Vulkangebiet westlich Popayan beschränkt sich auf die Gegend um Uribe. Hier stehen rötlichgraue Ignimbrite an, wie sie schon aus dem Vulkangebiet östlich Popayan bekannt sind. Die genaue

Abb. 8: Der Pan de Azúcar (Ostseite). Zeichnung aus STÜBEL (1906: Tafel 21).

Abb. 9: Der Vulkanberg Sotará (Nordseite). Zeichnung aus STÜBEL (1906: Tafel 22).

Verbreitung und Ausdehnung der Ignimbrite wurde bis heute noch nicht näher untersucht. Höchstwahrscheinlich besteht ein Zusammenhang zwischen den alkalirhyolithischen Ignimbriten des Vulkangebietes E Popayan mit denen des Gebietes W Popayan.

2.8 Der Vulkan Sotará (Abb. 5 und 9)

Vulkan-Typ: Stratovulkan

Geographische Lage: Kolumbien, Departemento Cauca
2°14' nördl. Breite
76°34' westl. Länge

Höhe ü. d. M.: 4435 m (STÜBEL, 1906:7 und WOLFF, 1929:384)
4460 m (REISS, 1921:66)
4580 m (FLETCHER, 1977:99)

Der erloschene Vulkan Sotará gehört geographisch weder der West- noch der Zentral-Kordillere an, er liegt aber direkt westlich der Zentral-Kordillere. Er besitzt nach WOLFF (1929:384) einen stumpf abgeschnittenen Kegel, eine Quellkuppe, der einen kleinen Krater trägt. THIELMANN (1879:389) schrieb dazu:*"Kühner geformt ist der minder hohe Vulkan Sotará, dessen stumpf abgeschnittener Kegel durch das schmale Quellental des Cauca vom Puracé getrennt ist."*

Schon HUMBOLDT (1823:342) erkannte den Sotará als das Förderzentrum der in der Gegend von Popayan weit zerstreuten Obsidianbruchstücke an.*"Die Obsidianstücke, emporgeschleudert durch den Vulkan von Sotará unfern von Popayan und auf eine Entfernung von mehreren Meilen geworfen, verdienen sorgsamere Beachtung... Sie zeigen, was ich nirgends anders gesehen habe, alle Farbentöne vom tiefsten Schwarz bis zu dem eines künstlichen farblosen Glases. Zuweilen erscheinen dieselben untermengt mit Schmelzbruchstücken von dem nämlichen Vulkan von Sotará ausgeworfen."*

STÜBEL (1906:53 f) stellte folgendes fest:*"Das alte Gebirge, welches durchbrochen wurde und dem der Vulkan nun aufsitzt, besteht hauptsächlich aus Quarzporphyren und Diabasporphyriten. Im Tale des Rio Quilcacé unweit der Hacienda Sotará, stehen auch metamorphe Schiefer und Graphit-Phyllite an. - Der Kegel des Sotará besteht, wenigstens in seinen obersten und neuesten Teilen (z. B. große Blöcke auf dem Gipfel), aus wenig Pyroxen und etwas Quarz führendem Amphibol-Andesit. Pyroxen-Andesit liegt in großen Blökken zerstreut im Páramo am Fuße des Berges gegen die Hacienda Sotará hinunter. Der Rio Quilcacé, welcher sein Bett tief in den Unterbau des Vulkanberges eingegraben hat, führt die größte Mannigfaltigkeit vulkanischer Gesteine unter seinen Geröllen: Amphibol-Andesit, Pyroxen-Andesit, Dacite verschiedener Sorte, Dacit-Bimssteine und Dacit-Obsidian... Entgegen dem Eruptionskegel des Puracé, mit welchem er durch den ihn umgebenden von Wasserrillen durchfurchten Schuttmantel eine entfernte Ähnlichkeit zeigt, ist der Sotará aus festen Lavabänken aufgebaut, und solche bilden auch den ganzen oberen schuttfreien Teil des Kegels. Auf dem Gipfel befindet sich eine kleine, kaum hundert Meter unter die höchste Spitze eingesenkte kraterartige Vertiefung."*

2.9 Der Vulkan Doña Juana (Abb. 5)

Vulkan-Typ: Stratovulkan mit Caldera und Lavadom
Geographische Lage: Kolumbien, Departemento Nariño
1°31' nördl. Breite
76°56' westl. Länge
Höhe ü. d. M.: Zentralkegel: 4250 m (FRIEDLAENDER, 1927 b:171; FLETCHER, 1977:99 u.a.)
Caldera-Rand: 3800 m (HANTKE & PARODI, 1966:12)

Die Doña Juana besitzt eine Caldera mit ca. 4 km Durchmesser, auf deren östlichem Rand sich ein 750 m hoher Zentralkegel erhebt. Sein Krater hat einen Durchmesser von ca. 500 m. Während der Eruptionsperiode von 1897 bis 1906 bildete sich in diesem Krater ein Lavadom. An der Basis der Caldera sind weiße Bimsstein-Tuffe sowie Lahar- und "Nuées ardentes"-Ablagerungen aufgeschlossen.
Der Vulkan Doña Juana wurde von FRIEDLAENDER (1927 b:170) wie folgt beschrieben: *"Der Vulkan ist etwa 4250 m hoch. Da das alte Gebirge (kristalline Schiefer) bis 2500 m Höhe reicht, hat der eigentliche Vulkan wenig über 1700 m Höhe. Der Vulkan selbst besteht aus ziemlich einheitlichem Material, einem glasigen sauren Hornblendebiotitandesit... Zwischen dem Sommawall und dem eigentlichen Vulkanberg befindet sich ein Atrio mit Sanden und anderen Lockermassen, stellenweise mit hausgroßen Auswürflingen... Von dem Hauptgipfel sind gelegentlich des letzten Ausbruches zwei Glutwolken oder Schlammströme ausgegangen."*

2.10 Das Vulkangebiet östlich Pasto (E Pasto)(Abb. 5)

Geographische Lage: Kolumbien, Departemento Putumayo/Nariño
1°08' nördl. Breite
77°06'- 77°00' westl. Länge
Höhe ü. d. M.: Ca. 2500 bis 3100 m

Das Vulkangebiet erstreckt sich vom nordöstlichen Ufer der Laguna de la Cocha bis zum Pueblo Santiago. Das wichtigste Eruptionszentrum der rhyodacitischen bis quarz-latiandesitischen Laven ist der Vulkan Bordoncillo (3699 m hoch, STÜBEL, 1906:73 und FLETCHER, 1977:247) und das Eruptionszentrum der von KÜCH (1892:130) und STÜBEL (1906:73) beschriebenen "Basalte" der Campanero.
Nach WOLFF (1929:384) ist der Bordoncillo *"ein alter Calderaberg, seine Caldera ist aber fast bis zur Unkenntlichkeit zerstört, in seinem Circus erhebt sich der jüngere Kegel des Cerro Campanero, von stromartiger Lava umflossen, die bereits bewaldet ist."*

2.11 Der Vulkan Azufral de Túquerres (Abb. 5, 10 und 11)

Vulkan-Typ: Stratovulkan (Caldera mit See und Lavadom)
Geographische Lage: Kolumbien, Departemento Nariño
1°05' nördl. Breite (HANTKE & PARODI, 1966:19)
77°41' westl. Länge
Höhe ü. d. M.: Caldera-Rand: 4070 m (STÜBEL, 1906:79, HANTKE & PARODI, 1966:19 u.a.)

Der Azufral de Túquerres ist der nördlichste Vulkan der südamerikanischen West-Kordillere. Seine vulkanische Aktivität beschränkt sich seit Jahrhunderten auf eine Fumarolen- und Solfatarentätigkeit. Er zeichnet sich durch eine große elliptische Caldera mit den Halbmessern 2,5 und 3 km aus, besitzt einen Kratersee, die Laguna Verde in 3795 m Höhe, und zwei Lavadome. Der Chemismus seiner Förderprodukte (Laven und Bimssteine) variiert vom Dacit bis Quarz-Andesit. Ähnliche Ergebnisse sind schon von ZUJOVIC (1884:23) und KÜCH (1892:150 f) bekannt.

2.12 Der Vulkan Nevado de Cumbal (Abb. 5 und 12)

Vulkan-Typ: Stratovulkan
Geographische Lage: Kolumbien, Departemento Nariño
0°59' nördl. Breite (HANTKE & PARODI, 1966:21)
77°53' westl. Länge
Höhe ü. d. M.: 4764 m (FORERO, 1956 und FLETCHER, 1977:98)
4790 m (STÜBEL, 1906:83 und RAMIREZ, 1975:53)

Der tätige Vulkan Cumbal besitzt einen nahezu ideal ausgebildeten, vergletscherten Kegel. Der Hauptkrater hat einen Durchmesser von 200 m und ist 100 m tief. Sein Kraterboden ist von einem Lavadom ausgefüllt, an dem zahlreiche HCl- und H_2S-führende Fumarolen liegen. An radialen Spalten entwickelten sich an den östlichen und südlichen Hängen Parasitärkrater mit der Bocca de Mundo Nuevo im SSW (4490 m) als jüngster Bildung. Die Bocca Grande (4717 m) sitzt als großer Sekundärkrater an der NE-Flanke.
Die rezenten Eruptionen gingen vor allem vom oberen Teil der Ostflanke aus, danach folgte der Ausbruch einer großen absteigenden "Nuée ardente".

Abb. 10: Der Kratersee des Azufral (Südseite)(aus STÜBEL, 1906: Tafel 43).

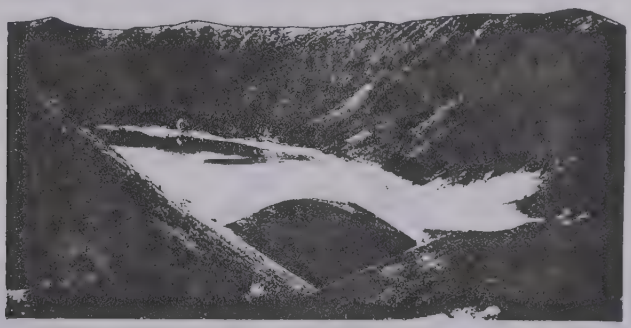


Abb. 11: Der Kratersee des Azufral 1981 mit Staukuppe (Foto: R. KILIAN).

Abb. 12: Die Vulkanberge Cumbal und Chiles von NE gesehen (aus STÜBEL, 1906: Tafel 47).

2.13 Der Vulkan Chiles (Abb. 5, 12 und 13)

Vulkan-Typ: Stratovulkan (Caldera mit steilem Kegel)
Geographische Lage: Grenzgebiet Kolumbien/Ecuador, Provinzen Nariño/Carchi
0°54' nördl. Breite (RAMIREZ, 1975:53)
77°53' westl. Länge
Höhe ü. d. M.: 4470 m (RAMIREZ, 1975:53)
4748 m (FLETCHER, 1977:98)
4780 m (STÜBEL, 1906:83 und WOLFF, 1929:364)

Der erloschene Vulkan Chiles ist nach WOLFF (1929:364) ein Calderaberg mit breit angelegter, flacher Basis und mit einem steilen Kegel in der tief eingeschnittenen Caldera.
Von SW zeigt er eine flach abgewölbte, von Gletschereis bedeckte Kuppe. Ähnlich wie die Hauptkuppe des Chiles, ist sein großer, gegen Südosten gerichteter Ausläufer gebaut (STÜBEL, 1906:89).

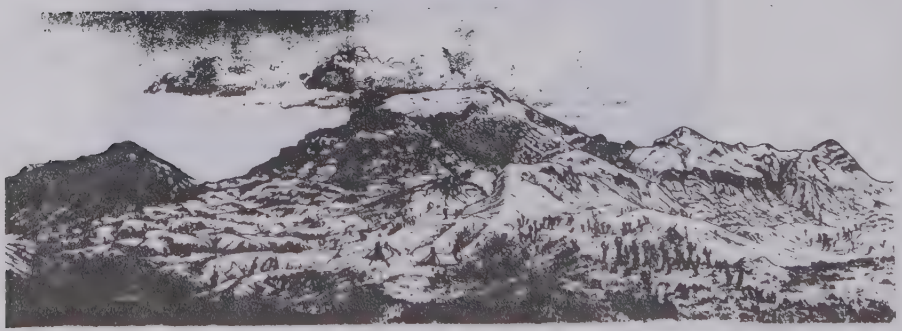


Abb. 13: Der Vulkanberg Chiles (Südwestseite)(aus STÜBEL, 1906: Tafel 49).

3. Probennahme

Das in dieser Arbeit untersuchte Gesteinsmaterial wurde während dreier Gelände-Aufenthalte in Kolumbien von Prof. Dr. H. PICHLER 1976, H. PICHLER, J. SCHMID und C. SCHMITT 1978, und von H. PICHLER und R. KILIAN 1981 gesammelt.
Die Proben stammen aus verschiedenen Vulkan-Gebieten sowie von mehreren Vulkan-Komplexen. Die Abb. 5 gibt eine schematische Übersicht über die Lage dieser Gebiete wieder.
Es wurden Vulkanite von folgenden Vulkan-Komplexen: Puracé (Abb. 14: Probe 1 bis 24), Los Coconucos (Probe 26 bis 28, ohne Abbildung), Pan de Azúcar (Abb. 14: Probe 25), Merenberg-Vulkan (Abb. 15: Probe 29 bis 34), Sotará (Abb. 17: Probe 64 bis 75), Doña Juana (Abb. 18: Probe 76 bis 99), Azufral de Túquerres (Abb. 19: Probe 103 bis 113), Cumbal (Abb. 20: Probe 114 bis 120) und Chiles (Abb. 20: Probe 121 bis 132; grenzüberschreitender Vulkan-Komplex, dessen Proben aus ecuadorischem Hoheitsgebiet stammen) und von folgenden großräumigen Vulkan-Gebieten bearbeitet: Gebiet östlich Popayan (Abb. 16: Probe 42 bis 62), Gebiet westlich Popayan nahe Uribe (Probe 63, ohne Abbildung), Gegend um Isnos und Acevedo südlich des Merenberg-Vulkans (Abb. 15: Probe 35 bis 41) und das Areal östlich Pasto zwischen der Laguna de la Cocha und Santiago (Abb. 18: Probe 100 bis 102).
Der überwiegende Teil der "Basalt"-Proben des Merenberg-Vulkans und des Isnos-Acevedo-Vulkangebietes wurde mir über H. PICHLER von Dr. S. KROONENBERG, Bogotâ, Kolumbien, zur Verfügung gestellt.
Von einer detaillierten Fundort-Beschreibung aller 132 untersuchten Gesteinsproben wurde hier abgesehen, da dies viel zu umfangreich wäre. Im Kapitel 4.1 erfolgt eine genaue Fundort-Angabe lediglich von den wichtigsten Vulkanit-Typen der einzelnen Vulkan-Komplexe bzw. -Gebiete.

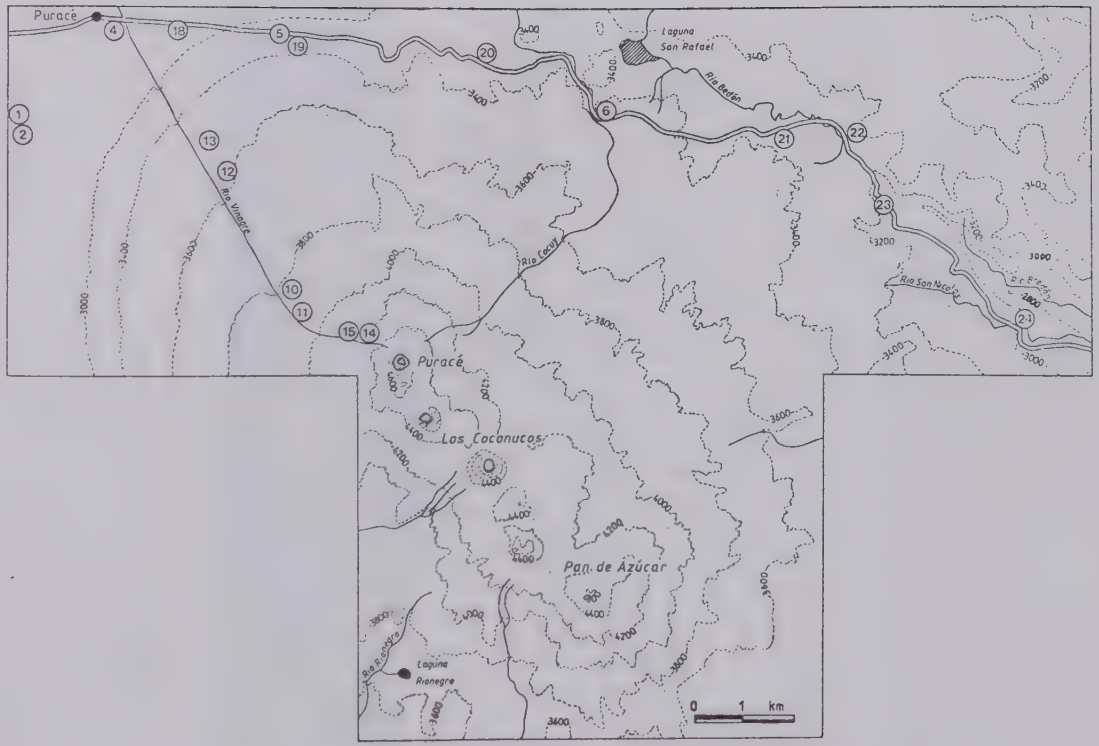


Abb. 14: Lage der Fundpunkte der Vulkanit-Proben des Puracé-Vulkan-Komplexes und Verlauf der Sierra Nevada de los Coconucos.

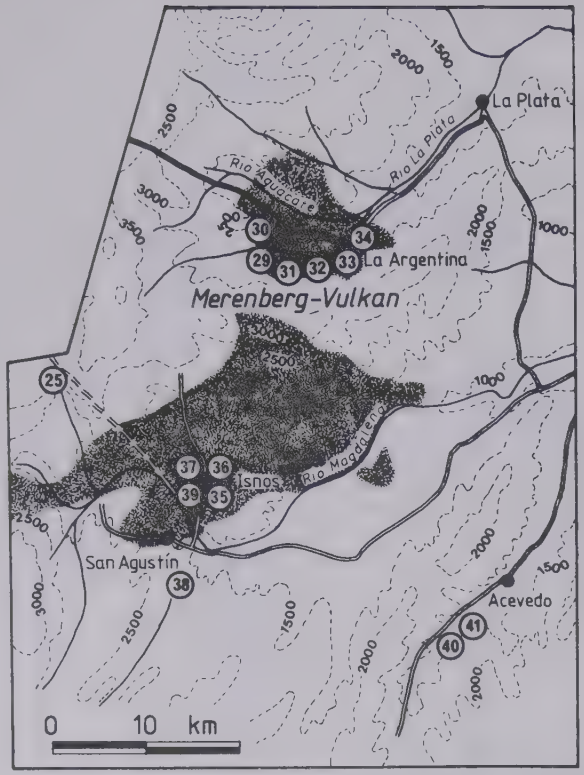


Abb. 15: Lage der Proben des Merenberg-Vulkans (29 bis 34), des Isnos-Acevedo-Areals (35 bis 41) und des Pan de Azúcar (25).

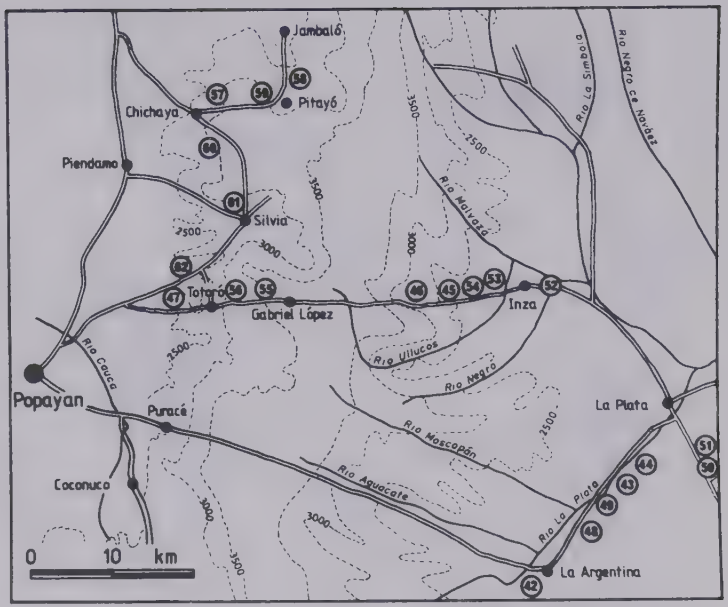


Abb. 16: Lage der Entnahmestellen der Proben des Vulkan-Gebietes östlich Popayan (42 bis 62).

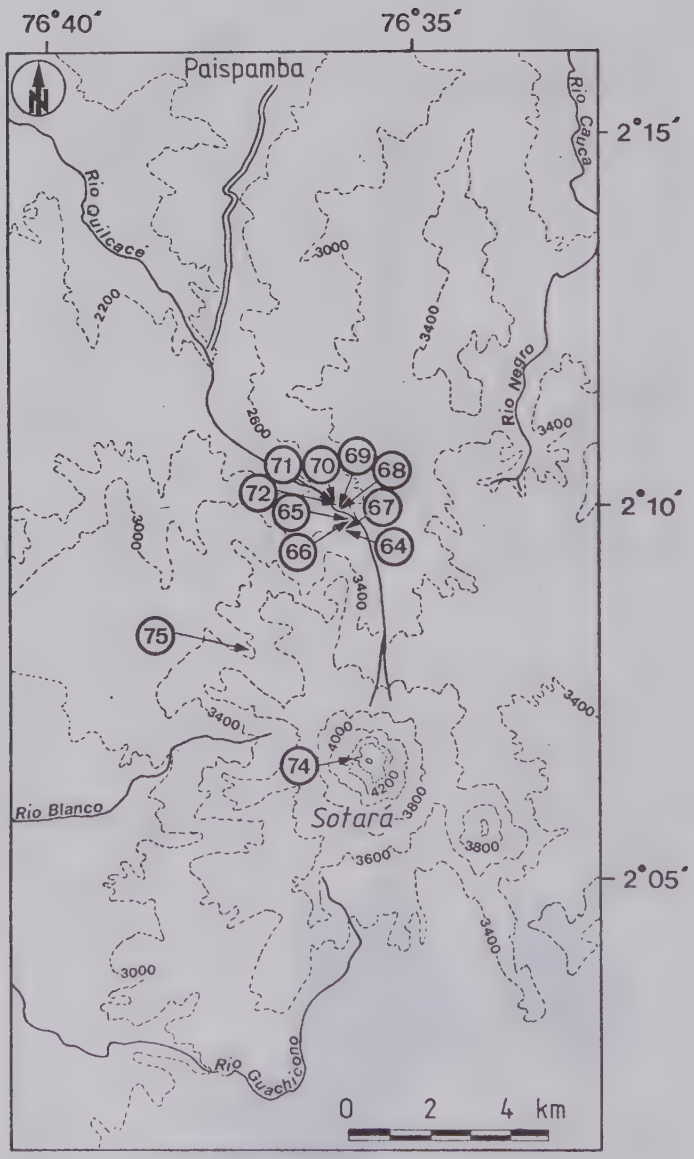


Abb. 17: Lage der Fundpunkte der Proben des Sotará-Vulkankomplexes (64 bis 75).

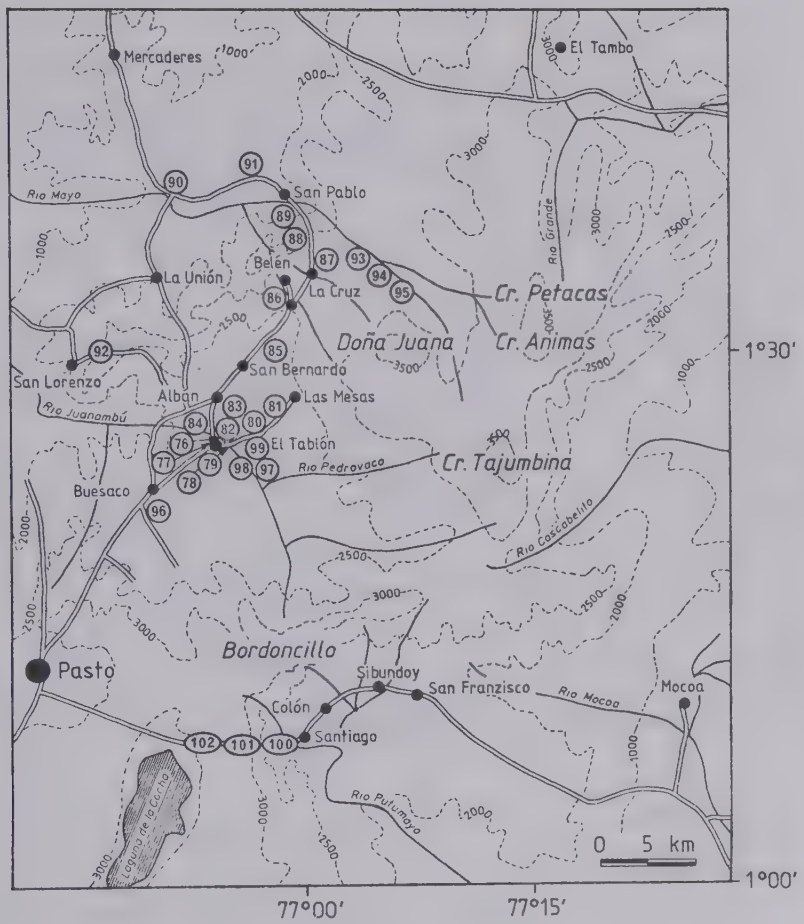


Abb. 18: Lage der Fundpunkte der Proben des Doña Juana-Vulkankomplexes (76 bis 99) und des Vulkangebietes östlich Pasto (100 bis 102) zwischen der Laguna de la Cocha und Santiago.

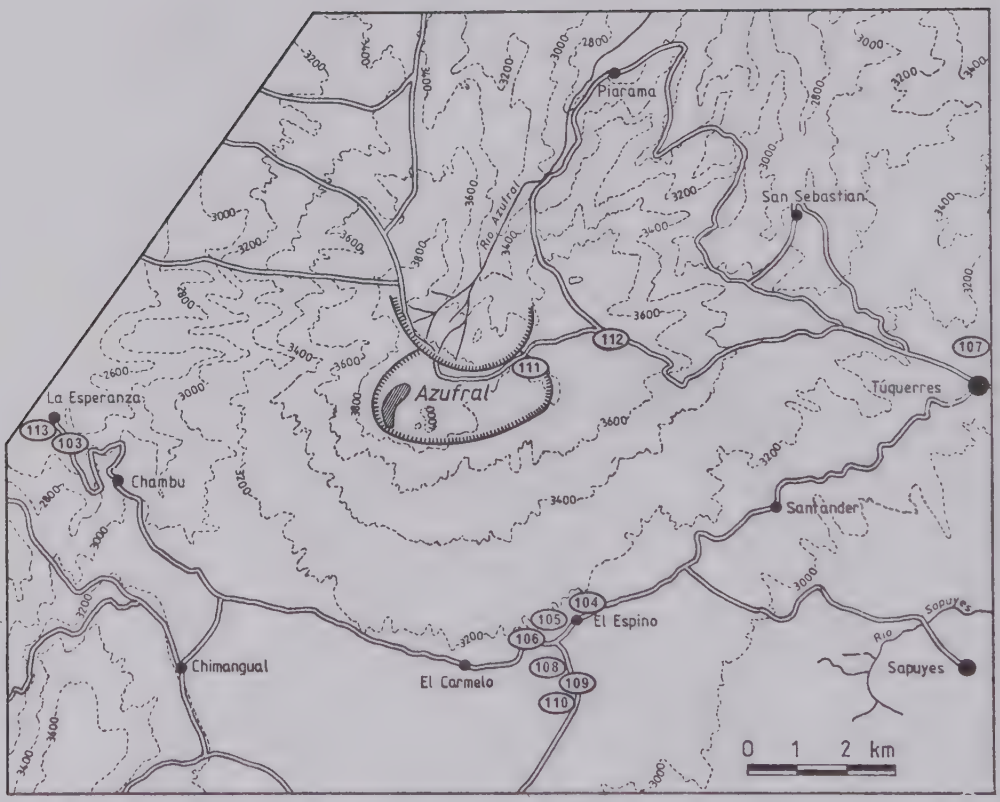


Abb. 19: Lage der Fundpunkte der Proben des Azufral de Túquerres (103 bis 113) und vereinfachte Darstellung der Caldera (nach PICHLER) mit dem See "Laguna Verde".

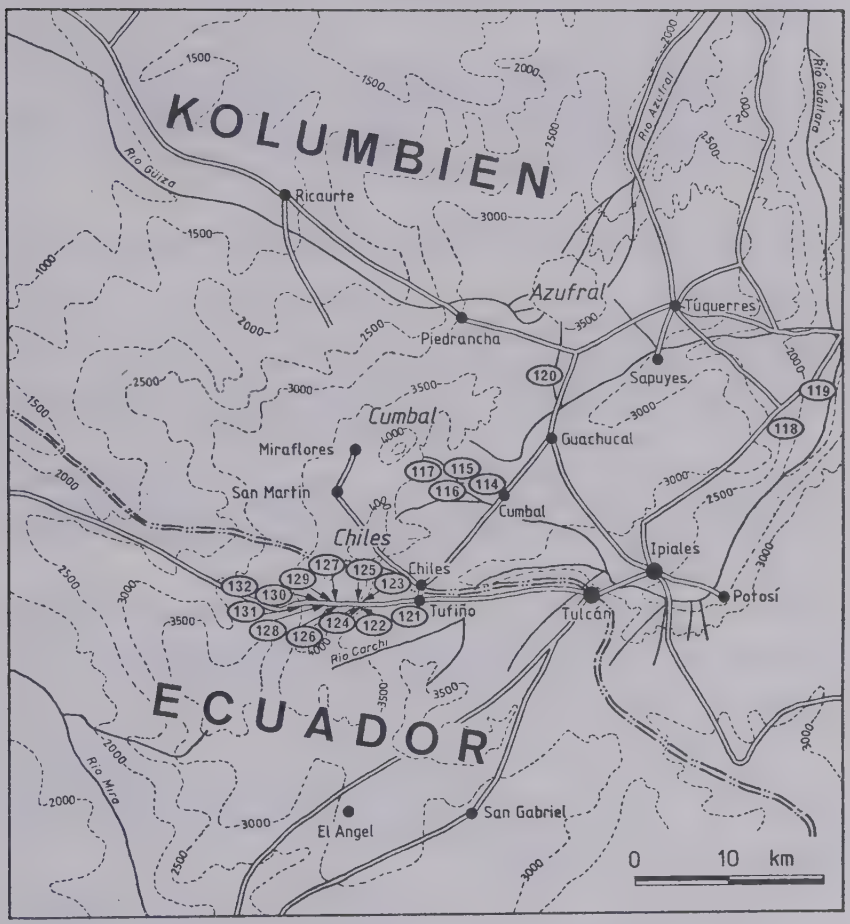


Abb. 20: Die Lage der drei nördlichsten Vulkane der West-Kordillere (Azufral de Túquerres, Nevado de Cumbal und Chiles) und der Fundorte der Proben des Cumbal (114 bis 120) und des Chiles-Vulkankomplexes (121 bis 132; die Proben des Chiles stammen ausschließlich von ecuadorischem Staatsgebiet).

=:= Grenzverlauf

4. Megaskopische und mikroskopische Charakterisierung der jungen Vulkanite

In diesem Kapitel werden nicht sämtliche der 132 untersuchten Proben megaskopisch und mikroskopisch beschrieben, sondern lediglich eine Auswahl der wichtigsten Vulkanit-Typen der einzelnen Vulkane bzw. Vulkan-Gebiete.

4.1 Megaskopische Beschreibung typischer Proben

Vulkan Puracé

Probe 2: Quarz-Latiandesit

Fundort: 3,4 km südlich des Dorfes Coconuco in einer Höhe von 2590 m (Abb. 14).
Gesteinstyp: mittelgrauer, plattig ausgebildeter Ignimbrit mit pseudofluidal eingeregelten Phänokristallen.

Probe 3: Quarz-Latiandesit

Fundort: 1 km südlich Coconuco in 2500 m Höhe (ohne Abb.).
Gesteinstyp: dichte, hellgraue, richtungslos porphyrische Lava mit vielen Fremdmaterial-Einschlüssen.

Probe 5: Quarz-Latiandesit

Fundort: Lavastrom 500 m oberhalb der Abzweigung zur Schwefelmine in 3300 m Höhe (Abb. 14).
Gesteinstyp: dichte, dunkelgraue, richtungslos porphyrische Lava mit sehr vielen Einsprenglingen.

Probe 12: Quarz-Latiandesit

Fundort: Lava vom Gelände der Schwefelmine in 3600 m Höhe (Abb. 14), in Richtung Vulkan Puracé, nahe dem Talgrund.
Gesteinstyp: massige, plattig ausgebildete, schwarzbraune Lava mit wenigen, fluidal eingeregelten Einsprenglingen; das Gestein bildet das Liegende der Probe 13.

Probe 13: Quarz-Latiandesit

Fundort: Lava vom Gelände der Schwefelmine in 3520 m Höhe (Abb. 14).
Gesteinstyp: poröse, schwarze Wurfschlacke mit vielen, fluidal eingeregelten Plagioklas-Phänokristallen.

Vulkan Pan de Azucar

Probe 25: Leuko-Quarz-Latiandesit

Fundort: durch den Straßenbau Popayan--San Agustin frisch aufgeschlossene, anstehende Lava an der Brücke über den Canyon des Rio Mazamorra in 3170 m Höhe (Abb. 15).
Gesteinstyp: dichte, grünlich hellgraue Lava mit vielen fluidal eingeregelten, porphyrischen Einsprenglingen.

Die Vulkan-Reihe der Coconucos

Probe 26: Quarz-Latiandesit

Fundort: Block aus der Quebrada Calva, 7,2 km nordwestlich der Probe 25, an der im Bau befindlichen Straße Popayan--San Agustín in 3210 m Höhe (ohne Abbildung).
Gesteinstyp: dichte, dunkelgraue Lava mit fluidal eingeregelten porphyrischen Plagioklas-, Pyroxen- und selten Hornblende-Phänokristallen.

Merenberg-Vulkan

Probe 29: Alkaliolivinbasalt

Fundort: Lavastrom bei El Morro am Río Loro, an der Straße von El Pensil nach La Argentina, ca. 6 km westlich La Argentina in 1800 m Höhe (Abb. 15).
Gesteinstyp: dichte, grauschwarze, richtungslos porphyrische Lava mit vielen Pyroxen- und Olivin-Einsprenglingen.

Probe 30: Quarz-Latiandesit

Fundort: Lavastrom bei El Pensil in ca. 2400 m Höhe (Abb. 15).
Gesteinstyp: dichte, mittelgraue Lava mit seltenen kleinen, fluidal eingeregelten porphyrischen Einsprenglingen.

Probe 31: Quarz-Andesit

Fundort: Straße von Popayan nach La Plata unterhalb des Merenberg-Vulkans in 2550 m Höhe bei km 127,15 (Abb. 15).
Gesteinstyp: mittelgraue, fluidal eingeregelte Lava mit wenigen porphyrischen Einsprenglingen.

Probe 32: Quarz-Latiandesit

Fundort: Straße von Popayan nach La Plata in 2160 m Höhe bei km 117 (Abb. 15).
Gesteinstyp: massige, dunkelgraue Lava mit wenigen großen, fluidal eingeregelten Phänokristallen.

Probe 33: Quarz-normativer Tholeiit-Hawaiit

Fundort: Straße von Popayan nach La Plata in 2110 m Höhe bei km 115,3 (Abb. 15).
Gesteinstyp: ca. 10 m mächtige, unregelmäßig abgesonderte, dichte, dunkelgraue Lava mit vielen großen Olivin- und Pyroxen-Einsprenglingen.

Isnos-Acevedo-Vulkangebiet

Probe 35: Nephelin-Basanit

Fundort: ca. 1 km südöstlich Isnos in ca. 2200 m Höhe (Abb. 15).
Gesteinstyp: dichte, schwarzgraue, plattig ausgebildete, zersetzte Lava mit porphyrischen Olivin-Einsprenglingen in fluidal texturierter Grundmasse.

Probe 37: Mela-Tholeiitolivinbasalt

Fundort: ca. 1 km nordwestlich Isnos in ca. 2200 m Höhe (Abb. 15).
Gesteinstyp: dichte, plattig ausgebildete, schwarzgraue Lava mit vielen iddingsitisierten, porphyrischen Olivin-Phänokristallen.

Probe 38: Quarz-normativer Latiandesit

Fundort: Lavastrom an der Straße zwischen dem Hotel Yalconia und dem Eingang zum Parque Arqueológico von San Agustín, ca. 2 km östlich des Eingangs (Abb. 15).
Gesteinstyp: dichte, dunkelgraue Lava mit wenigen porphyrischen Einsprenglingen.

Probe 39: Mela-Olivin-Nephelin-Tephriphonolith

Fundort: 6 km südwestlich Isnos in 1630 m Höhe an einem kleinen Wasserfall (Abb. 15).
Gesteinstyp: dichte, grauschwarze Lava mit vielen kleinen, richtungslos porphyrischen Olivin-Phänokristallen.

Probe 40: Mafitischer Olivin-Nephelinit

Fundort: ca. 8 km südwestlich Acevedo in ca. 1500 m Höhe (Abb. 15).
Gesteinstyp: dichte, dunkelgraue Lava mit wenigen kleinen, richtungslos porphyrischen Olivin-Einsprenglingen.

Vulkangebiet östlich Popayan

Probe 42: Quarz-Latiandesit

Fundort: 2,2 km westlich La Argentina an der Straße von Popayan nach La Plata in 2100 m Höhe bei km 116 (Abb. 16).
Gesteinstyp: pyroklastische Tuffbreccie mit vielen Fremdmaterial-Einschlüssen (darunter Laven und Bimssteine) und großen Phänokristallen in feinstkörnigem, hellbraunem Zement.

Probe 44: Alkalifeldspat-Rhyolith

Fundort: ca. 20 km westlich La Plata an der Straße von Popayan nach La Plata in 1900 m Höhe bei km 90 (Abb. 16).
Gesteinstyp: hellgrauer, pseudofluidal eingeregelter Ignimbrit mit vielen kristalloklastischen Feldspat-Einsprenglingen, Fremdmaterial-Einschlüssen und schönen schwarzen Flammen.

Probe 45: Leuko-Quarz-Latiandesit

Fundort: Straße La Plata--Inza--Popayan, 35 km westlich Inza in 3000 m Höhe (Abb. 16).
Gesteinstyp: dichter, hellgrauer Ignimbrit mit pseudofluidal eingeregelten Einsprenglingen und intensiv ausgelängten, schwarzen Flammen, die nicht vollkommen glasig erstarrt sind, sondern auch Phänokristalle besitzen.

Probe 46: Quarz-Latiandesit

Fundort: Straße La Plata--Inza--Popayan, ca. 38 km westlich Inza in 3150 m Höhe (Abb. 16).
Gesteinstyp: dichter, dunkelgrauer Ignimbrit mit wenigen großen, pseudofluidal eingeregelten porphyrischen Einsprenglingen und seltenen Fremdmaterial-Einschlüssen.

Probe 47: Alkalifeldspat-Rhyolith

Fundort: Straße Totoró--Popayan, alter Steinbruch 2 km östlich der Panamericana in 1870 m Höhe (Abb. 16).
Gesteinstyp: dichter, hellgrauer Ignimbrit mit sehr vielen Feldspat- und wenigen Biotit-Einsprenglingen.

Probe 51: Leuko-Quarz-Latiandesit

Fundort: ca. 0,9 km von der Straßenabzweigung von San Andrés de Pisimbalá nach La Plata in 1590 m Höhe bei km 98,5 (Abb. 16).
Gesteinstyp: dichter, rötlicher Ignimbrit mit pseudofluidal eingeregelten Einsprenglingen und intensiv ausgelängten Flammen, die z. T. Kristalle enthalten.

Probe 55: Quarz-Latiandesit

Fundort: Straße Inza--Totoró--Popayan, westlich vom Pueblo Gabriel López in 2950 m Höhe bei km 29,9 (Abb. 16).
Gesteinstyp: dichter, porphyrischer Ignimbrit mit sehr vielen pseudofluidal eingeregelten, weißen Plagioklasen und wenigen dunklen Phänokristallen. Die Matrix besteht aus schwarzem Glas, das z. T. ins Rötliche übergeht.

Probe 56: Quarz-Latiandesit

Fundort: Straße Inza--Totoró--Popayan, westlich vom Pueblo Gabriel López in 2725 m Höhe bei km 25,6 (Abb. 16). Es handelt sich um alte känozoische Laven, die wahrscheinlich die Ignimbrite unterlagern.
Gesteinstyp: dichte, dunkelgraue Lava mit sehr wenigen großen, fluidal eingeregelten porphyrischen Einsprenglingen.

Probe 57: Quarz-Latiandesit

Fundort: Straße Silvia--Jambaló, 4,7 km westlich Pitayó in 3070 m Höhe bei km 33,3 (erster "Subvulkanit"-Typ, fragliche Zugehörigkeit zu den Ignimbriten; Abb. 16).
Gesteinstyp: dichter, mittelgrauer "Subvulkanit" mit sehr vielen großen, porphyrischen, fluidal eingeregelten Hornblende-Leisten und wenigen großen Plagioklas-Phänokristallen.

Probe 58: Quarz-Latiandesit

Fundort: Straße Silvia--Jambaló, 6,8 km südlich Jambaló in 2490 m Höhe bei km 44,8 (zweiter "Subvulkanit"-Typ, grobe, säulige Absonderung; Abb. 16).
Gesteinstyp: dichter, hellgraubrauner "Subvulkanit" mit sehr vielen großen, porphyrischen, fluidal eingeregelten Plagioklas- und Hornblende-Einsprenglingen.

Probe 59: Quarz-Latiandesit

Fundort: Straße Jambaló--Silvia, 2 km nördlich von Pitayó in 2710 m Höhe bei km 40,0 (dritter "Subvulkanit"-Typ; Abb. 16).
Gesteinstyp: hell- bis mittelgrauer porphyrischer "Subvulkanit" mit zahlreichen, bis zu cm-großen Plagioklas-Einsprenglingen und etwas kleineren, fluidal eingeregelten Hornblende-Kristallen.

Probe 60: Dacit

Fundort: Straße Jambaló--Silvia, 2,4 km südlich Silvia in 2630 m Höhe bei km 21,4. Stark verfestigte Ash-flow mit reichlich gradierten nuß- bis faustgroßen Bimssteinen (Abb. 16).
Gesteinstyp: hellgrauer Bimsstein mit vielen unregelmäßigen Poren und zahlreichen fluidal eingeregelten Plagioklas-, Biotit- und Hornblende-Phänokristallen.

Probe 61:

Fundort: Straße Jambaló--Silvia, 0,5 km nördlich Silvia in 2570 m Höhe bei km 19,5; unregelmäßige Absonderung in vertikaler Richtung, undeutliche Säulen (Abb. 16).
Gesteinstyp: hellgraubrauner, verfestigter, aber unverschweißter Ignimbrit mit häufigen, pseudofluidal eingeregelten porphyrischen Einsprenglingen von sehr schön pseudohexagonal ausgebildetem Biotit und wenig Hornblende.

Vulkangebiet westlich Popayan

Probe 63: Alkalifeldspat-Rhyolith

Fundort: Straße Popayan--Cajibío--Uribe, nahe El Carmelo in 1740 m Höhe bei km 11,5; unregelmäßig absondernder Ignimbrit (ohne Abbildung).
Gesteinstyp: dichter, rötlichgrauer Ignimbrit mit vielen porphyrischen, pseudofluidal eingeregelten Feldspat-Kristalloklasten und Biotiten sowie Fremdmaterial-Einschlüssen (ähnlich der Probe 47).

Vulkan Sotará

Probe 64: Alkalifeldspat-Rhyolith

Fundort: Obsidian-Wand in 3200 m Höhe oberhalb der Köhlerhütte (3030 m), durch Fußmarsch vom Río Quilcacé aus erreichbar (Abb. 17).
Gesteinstyp: schwarzer Obsidian mit wenigen "Anorthoklas"-Einsprenglingen, Glas z. T. schlierig.

Probe 65: Leuko-Quarz-Latiandesit

Fundort: Lava-Blöcke nahe der Köhlerhütte in 3030 m Höhe (Abb. 17).
Gesteinstyp: dichte, mittelgraue Lava mit sehr wenigen und kleinen porphyrischen Plagioklas- und Hornblende- Phänokristallen.

Probe 66: Leuko-Quarz-Latiandesit

Fundort: Lava von der W-Seite des Staukuppenkomplexes des Sotará in ca. 3050 m Höhe (Abb. 17).
Gesteinstyp: poröse, graue Lava mit sehr vielen großen, fluidal eingeregelten porphyrischen Plagioklas-, Biotit- und stengeligen Hornblende-Einsprenglingen.

Probe 67: Alkalifeldspat-Rhyolith

Fundort: südlich der Río Quilcacé-Brücke, als Sprengbreccie vorliegend in 2950 m Höhe (Abb. 17).
Gesteinstyp: reinweißer, wenig poröser Bimsstein mit fluidal eingeregelten Glasfasern und wenigen großen, porphyrischen Einsprenglingen von Feldspat, Biotit und Hornblende.

Probe 68: Alkalifeldspat-Rhyolith

Fundort: wie Probe 67 (Abb. 17).
Gesteinstyp: dichter, hellgrauer, leicht aufgebimster Obsidian mit wenigen, in den fluidal eingeregelten Glasscherben befindlichen Anorthoklas-Phänokristallen und vielen "Sphärolithen".

Probe 69: Alkalifeldspat-Rhyolith

Fundort: wie Probe 67 und 68 (Abb. 17).
Gesteinstyp: hellgrauweißer, poröser, gerundeter, kindsfaustgroßer Bimsstein mit fluidal eingeregelten Poren und sehr wenigen Einsprenglingen von Anorthoklas und Hornblende.

Probe 71: Dacit

Fundort: südlich der Río Quilcacé-Brücke, aus der Mitte des feinplattigen "Porzellan"-Lavastromes in 2780 m Höhe (Abb. 17).
Gesteinstyp: rotbraune, oxidierte Lava mit wenigen großen, fluidal eingeregelten porphyrischen Plagioklas-, Biotit- und Hornblende-Einsprenglingen in rotbrauner Glasmatrix, die schwarze, ebenfalls eingeregelte Schlieren enthält.

Probe 72: Leuko-Quarz-Latiandesit

Fundort: südlich der Río Quilcacé-Brücke, von der Basis des "Porzellan"-Lavastromes in 2760 m Höhe (Abb. 17).
Gesteinstyp: wie Probe 71, die Lava ist jedoch nicht oxidiert und daher von mittelgrauer Farbe. Es fehlen die schwarzen Glasschlieren. Sehr ähnlich ist die Probe 70, die der Oberfläche des Lavastromes in 2800 m Höhe entnommen wurde. Da dieser stark oxidiert ist, hat die Probe eine intensive Rotfärbung.

Probe 73: Dacit

Fundort: Straße Popayan--Pasto, nahe Tinajas in 750 m Höhe bei km 117,6 (fragliche Zugehörigkeit zum Sotará).
Gesteinstyp: cremefarbener, grobporiger Bimsstein mit vielen porphyrischen, fluidal angeordneten Einsprenglingen und ausgelängten Hohlräumen.

Doña Juana

Probe 76: Leuko-Quarz-Latiandesit

Fundort: Straße El Tablón--Las Mesas, etwa 1 km nördlich El Tablón in 1600 m Höhe. Block-Typ I aus der Steilwand der "Montagne Pelée-glowing avalanche"-Ablagerung (Abb. 18).
Gesteinstyp: dichte, hellgraue, richtungslos porphyrische Lava mit vielen größeren (bis 6 mm) Einsprenglingen von Plagioklas, Biotit, Hornblende, Pyroxen und Olivin in mikrokristalliner Matrix mit geringem Glasanteil.

Probe 77: Quarz-Latiandesit

Fundort: wie Probe 76. Block-Typ II aus der Steilwand der "Montagne Pelée-glowing avalanche"-Ablagerung (Abb. 18).
Gesteinstyp: dichte, rötlichgraue, fluidal eingeregelte porphyrische Lava mit bis zu 5 mm großen Phänokristallen von Quarz, Plagioklas, Biotit, Hornblende, Pyroxen und selten Olivin in mikrokristalliner Matrix.

Probe 78: Dacit

Fundort: wie Probe 76. Block-Typ III aus der Steilwand der "Montagne Pelée-glowing avalanche"-Ablagerung (Abb. 18).
Gesteinstyp: dichter, schwarzer, glasig erstarrter porphyrischer "Phäno-Ignimbrit" mit vielen Einsprenglingen von Quarz, Plagioklas, Biotit und Hornblende mit vitrophyrischem Gefüge. Häufig sind auch allothigene Einschlüsse mit Pyroxen- und Olivin-Phänokristallen in mikrokristalliner Grundmasse.

Probe 79: Quarz-Latiandesit

Fundort: wie Probe 76. Block-Typ IV aus der Steilwand der "Montagne Pelée-glowing avalanche"-Ablagerung (Abb. 18).
Gesteinstyp: poröse, graubraune porphyrische Lava mit wenigen, fluidal eingeregelten Einsprenglingen von Plagioklas, Biotit, Hornblende, Pyroxen und selten Olivin; größere Einschlüsse von Fremdmaterial sind selten.

Probe 80: Leuko-Quarz-Latiandesit

Fundort: Straße El Tablón--Las Mesas, kurz vor dem Ortseingang von Las Mesas als Liegendes der vorher beschriebenen Ignimbrit-Wand (Abb. 18).
Gesteinstyp: cremefarbener, relativ dichter, gerundeter Bimsstein mit fluidal eingeregelten Glasfasern und porphyrischen Phänokristallen von Quarz, Plagioklas, Biotit und leistenförmiger Hornblende.

Probe 81: Dacit

Fundort: wie Probe 80 (Abb. 18).
Gesteinstyp: cremefarbener, unverschweißter und schwach verfestigter Ignimbrit mit wenigen kleinen Einsprenglingen von Quarz, Plagioklas, Biotit und Hornblende. Häufig vertreten sind Fremdmaterial-Einschlüsse vulkanischer Natur.

Probe 82: Dacit

Fundort: Straße El Tablón--San José de Albán, 2 km nördlich El Tablón in 1590 m Höhe. Die Probe entstammt der untersten Lage der 15 bis 20 m mächtigen Ash-flow-Serie (Abb. 18).
Gesteinstyp: hellgrauweißer, kantengerundeter, mannsfaustgroßer, wenig poröser Bimsstein mit vielen porphyrischen Einsprenglingen in fluidal eingeregelter Glasmatrix.

Probe 83: Dacit

Fundort: wie Probe 82. Die Probe entstammt den oberen Partien der Ash-flow-Serie; die gesamte Vulkanit-Serie liegt Phylliten bis Graphit-Phylliten auf (Abb. 18).
Gesteinstyp: dichte, blockige, hellgraue, richtungslos porphyrische Lava mit vielen großen Einsprenglingen von Quarz, Plagioklas (bis 1 cm), Biotit und Hornblende.

Probe 84: Quarz-Andesit

Fundort: Straße El Tablón--San José de Albán, Lavablock aus der Ash-flow am Río Juanacatú in 1540 m Höhe (Abb. 18).
Gesteinstyp: dichte, dunkelgraue, richtungslos porphyrische Lava mit sehr wenigen Phänokristallen von Plagioklas und Pyroxen.

Probe 85: Dacit

Fundort: Straße San Bernardo--La Cruz; kindsfaustgroßer Bimsstein aus einem ca. 1 m mächtigen Bimssteinband (gefallener, gradierter Bimsstein). Der untere Teil besteht zumeist aus reiskorngroßen, selten größeren Bimsstein-Lapilli, der obere Teil enthält feines, durch Wind umgelagertes Bimssteinaschen-Material. Der Fundpunkt liegt in 2620 m Höhe bei km 46,3 (Abb. 18).
Gesteinstyp: cremefarbener, eckiger bis abgeflachter Bimsstein mit fluidal eingeregelten, porphyrischen Einsprenglingen von Plagioklas, Biotit und Hornblende.

Probe 86: Leuko-Quarz-Latiandesit

Fundort: Straße San Bernardo--La Cruz, Lavablock aus einem von der Doña Juana herabkommenden Fluß; in 2510 m Höhe bei km 43,0 (Abb. 18).
Gesteinstyp: mittelgraue, richtungslos porphyrische Lava mit sehr vielen, bis zu 5 mm großen Plagioklas-, sowie wenigen Quarz- und Hornblende-Phänokristallen.

Probe 88: Quarz-Andesit

Fundort: Straße San Bernardo--La Cruz; anstehende Lava, die oben sehr grobblockig, dazwischen plattig und unten wieder grobblockig ausgebildet ist (Abbau !); ca. 3,5 km vor Pueblo Villastancia in 2660 m Höhe (Abb. 18).
Gesteinstyp: massige, mittelgraue Lava mit wenigen porphyrischen, fluidal eingeregelten Plagioklas-, Hornblende- und Pyroxen-Einsprenglingen.

Probe 90: Phäno-Latiandesit

Fundort: Straße La Unión--Mercaderes, vom nördlichen Ufer des Río Mayo in 1290 m Höhe; aus der ältesten Ash-flow-Einheit dieses Gebietes (Abb. 18).
Gesteinstyp: mäßig verfestigte, graubraune vulkanische Breccie mit sehr vielen Grundgebirgs-Fragmenten und Phänokristallen von Quarz, Plagioklas, Hornblende und Pyroxen.

Probe 92: Plagidacit

Fundort: Straße Santa Cecilia--San Lorenzo, ca. 5 km vor Santa Cecilia in 2350 m Höhe (Abb. 18).
Gesteinstyp: dichte, sehr stark verfestigte, graugrüne Extrusions-Breccie mit schlieriger, fluidal eingeregelter Matrix sowie vielen Einschlüssen von Plutoniten und kontaktmetamorph umgewandelten Tonsteinen; wenige Einsprenglinge.

Vulkangebiet östlich Pasto

Probe 100: Quarz-Latiandesit

Fundort: Straße Pasto--Sibundoy (Provinz Putumayo), ca. 9 km westlich Santiago in 2650 m Höhe aus einem Lavastrom bei km 42,5 (Abb. 18).
Gesteinstyp: ausgeprägt plattige, dichte, mittelgraue, fluidal eingeregelte Lava mit sehr seltenen porphyrischen Einsprenglingen von Plagioklas und Hornblende.

Probe 101: Dacit

Fundort: Straße Pasto--Sibundoy (Provinz Putumayo), ca. 15 km westlich Santiago in 3020 m Höhe aus einem Lavastrom bei km 36,5 (Abb. 18).
Gesteinstyp: ausgeprägt plattige, massige, fluidal eingeregelte, dunkelgraue Lava mit sehr seltenen porphyrischen Phänokristallen von Plagioklas und Pyroxen. Sehr ähnlich der Probe 100.

Probe 102: Rhyodacit

Fundort: Straße Pasto--Sibundoy (Provinz Nariño), ca. 19 km westlich Santiago in 3130 m Höhe aus einem alten Steinbruch (Abb. 18).
Gesteinstyp: poröse, rötlichgraue Lava mit sehr vielen fluidal eingeregelten porphyrischen Plagioklas-, Biotit- und Pyroxen-Einsprenglingen.

Vulkan Azufral de Túquerres

Probe 105: Dacit

Fundort: Straße Túquerres--Tumaco, nahe der Abzweigung nach Espino in 3150 m Höhe, aus einem Pyroklastit-Abbau, in dem mehrere Bimsstein-Einheiten -insgesamt 6 m mächtig- aufgeschlossen sind. Darüber folgt ein Lahar mit bis zu 1 m großen Blöcken (Abb. 19).
Gesteinstyp: ziemlich dichter, hellgrauer Bimsstein mit vielen porphyrischen Einsprenglingen von Quarz, Plagioklas, Biotit und Hornblende in einer richtungslos blasigen Glasmatrix.

Probe 106: Dacit

Fundort: wie Probe 105. Block aus dem überlagernden Lahar mit chaotischem Gefüge (Abb. 19).
Gesteinstyp: schwach poröse, rötlichhellgraue Lava mit vielen fluidal eingeregelten porphyrischen Quarz-, Plagioklas-, Biotit- und Hornblende-Phänokristallen sowie Fremdmaterial-Einschlüssen.

Probe 107: Quarz-Latiandesit

Fundort: Straße Pasto--Túquerres, erste Lava westlich der Río Guáitara-Brücke in 2620 m Höhe (Abb. 19).
Gesteinstyp: dichte, dunkelgraue, richtungslos porphyrische Lava mit sehr vielen Phänokristallen von überwiegend Plagioklas (bis 5 mm lang) und wenigen kleinen Pyroxenen.

Probe 108: Dacit

Fundort: Straße Túquerres--Guachucal, ca. 9,1 km südwestlich Túquerres in 3090 m Höhe; Lavablock aus der unteren Paläosol-Lage, der nach oben zwei weitere Paläosol- und drei Bimsstein-Lagen folgen. Das Blockmaterial dürfte von dem bergseitig gelegenen Krater eines Parasitär-Vulkans stammen (Abb. 19).
Gesteinstyp: schwach poröse, hellgraue Lava mit wenigen, fluidal eingeregelten, kleinen porphyrischen Einsprenglingen von Quarz, Plagioklas, Biotit und Hornblende.

Probe 109: Dacit

Fundort: Straße Túquerres--Guachucal, ca. 1 km südlich der Abzweigung nach Guachucal in 3090 m Höhe aus einem Bimssteinabbau. Im oberen Teil des Aufschlusses steht eine rötliche "pumice-flow"-Schicht an, deren Basis größere Bimssteinblöcke enthält. Darunter folgt die Hauptmasse der Bimsstein-Serie, und zwar zwei verschiedene "pumice-flow"-Einheiten (beide weiß). Die Probe entstammt aus einem doppeltkopfgroßen Bimssteinblock aus dem untersten Teil der unteren Einheit (Abb. 19).
Gesteinstyp: stark poröser, weißer Bimsstein mit zahlreichen kleinen, fluidal eingeregelten Einsprenglingen von Quarz, Plagioklas, Biotit und stengeliger Hornblende in einer Matrix aus feinen, parallel ausgelängten Glasfasern.

Vulkan Nevado de Cumbal

Probe 114: Quarz-Latiandesit

Fundort: Straße Pueblo Cumbal--Richtung Nevado de Cumbal, ca. 2 km vom Pueblo Cumbal entfernt; anstehende Lava von einem kleinen, eigenständigen Vulkankegel in 3170 m Höhe (Abb. 20).
Gesteinstyp: dichte, grauschwarze Lava mit wenigen Plagioklas- und Olivin- nebst vielen Pyroxen-Einsprenglingen in einer fluidal eingeregelten Matrix aus Feldspat- und Pyroxen-Leisten sowie Glas.

Probe 115: Quarz-Latiandesit

Fundort: Lavastrom des Cumbal, östlich der Lagune in 3310 m Höhe (Abb. 20).
Gesteinstyp: massige, schwarze Lava mit wenigen großen porphyrischen Plagioklas-, Pyroxen- und Olivin-Phänokristallen in einer mikrokristallinen bis glasigen Grundmasse.

Probe 116: Quarz-Latiandesit

Fundort: Lava des Cumbal, westlich der Lagune in 3470 m Höhe (Abb. 20).
Gesteinstyp: poröse, schlackige, grauschwarze Lava mit vielen fluidal eingeregelten porphyrischen Einsprenglingen von Plagioklas und Pyroxen.

Probe 117: Phäno-Quarz-Andesit

Fundort: Lava des Cumbal, ca. 400 m vom Pistenanfang entfernt in Richtung Pueblo Cumbal in 3490 m Höhe (Abb. 20).
Gesteinstyp: massige, schwarze Lava mit wenigen großen, fluidal eingeregelten Plagioklas-, Pyroxen- und Olivin-Einsprenglingen in einer feinkörnigen Matrix aus Feldspat-Leisten und wenig Glas.

Probe 118: Quarz-Latiandesit

Fundort: Straße Ipiales--Pasto in 2400 m Höhe bei km 66,3; hier überspannt eine Pipeline den Río Guáitara (Abb. 20).
Gesteinstyp: poröse, rötlichgraue, richtungslos porphyrische Lava mit sehr vielen Plagioklas- und Pyroxen-Phänokristallen in einer fluidal eingeregelten Grundmasse.

Vulkan Chiles (Proben stammen alle von der Südseite des Vulkans)

Probe 121: Quarz-Latiandesit

Fundort: Straße Tufiño--Tobar Donoso, aus einem kleinen Steinbruch südlich der Straße, 2 km westlich Tufiño in 3350 m Höhe (Abb. 20).
Gesteinstyp: dichte, grobblockige, rötlichgraue Lava mit vielen fluidal eingeregelten, porphyrischen Einsprenglingen von überwiegend Plagioklas und Pyroxen.

Probe 122: Dacit

Fundort: Straße Tufiño--Tobar Donoso, 9,75 km westlich Tufiño; aus fluidal gebändertem Lavastrom in 3860 m Höhe (Abb. 20).
Gesteinstyp: dichte, grauschwarze Lava mit vielen fluidal eingeregelten, porphyrischen Einsprenglingen von Plagioklas und etwas Olivin.

Probe 123: Dacit

Fundort: Straße Tufiño--Tobar Donoso, 10,85 km westlich Tufiño, aus einem kurzen, breiten Lavastrom in 3930 m Höhe (Abb. 20).
Gesteinstyp: dichte, mittelgraue, plattig absondernde Lava mit wenigen großen, fluidal eingeregelten, porphyrischen Einsprenglingen von Plagioklas, Hornblende, Pyroxen und Olivin.

Probe 124: Quarz-Andesit

Fundort: Straße Tufiño--Tobar Donoso, 11,45 km westlich Tufiño, aus einem "basischen", unregelmäßig polyedrisch geklüfteten Lavastrom in 3950 m Höhe (Abb. 20).
Gesteinstyp: massige, schwarzbraune Lava mit wenigen porphyrischen Einsprenglingen von Plagioklas, Pyroxen (häufiger) und Olivin (häufig) in einer mikrokristallinen, für Vulkanite recht grobkörnigen Matrix.

Probe 125: Dacit

Fundort: Straße Tufiño--Tobar Donoso, 13,3 km westlich Tufiño, Lavastrom ca. 100 m jenseits (westlich) der ersten Paßhöhe in 4020 m Höhe (Abb. 20).
Gesteinstyp: dichte, rot-schwarz-gebänderte Lava mit sehr vielen fluidal eingeregelten, porphyrischen Phänokristallen von Plagioklas, Biotit (selten), Hornblende und Pyroxen.

Probe 126: Dacit

Fundort: Straße Tufiño--Tobar Donoso, 14,3 km westlich Tufiño, aus einer Lavawand in einem kleinen Kar in 4030 m Höhe (Abb. 20).
Gesteinstyp: dichte, bläulichgraue Lava mit sehr vielen fluidal eingeregelten, porphyrischen Einsprenglingen von überwiegend Plagioklas und wenigen dunklen Mineralen (Hornblende und Pyroxen).

Probe 127: Dacit

Fundort: Straße Tufiño--Tobar Donoso, 18,7 km westlich Tufiño, ca. 1,5 km westlich von der zweiten und letzten Paßhöhe entfernt in 4080 m Höhe, aus einem "zersetzten" Lavastrom in 4000 m Höhe (Abb. 20).
Gesteinstyp: dichte, zersetzte, hellgraue Lava mit vielen richtungslos porphyrischen Plagioklas-Einsprenglingen und einigen Pyrit-Körnchen.

Probe 128: Quarz-Latiandesit

Fundort: Straße Tufiño--Tobar Donoso, 19,4 km westlich Tufiño, aus einem säulig abgesonderten, "frischen" Lavastrom in 3990 m Höhe (Abb. 20).

Gesteinstyp: dichte, glasige Lava mit vielen fluidal eingeregelten Einsprenglingen von Plagioklas, Pyroxen und häufig Olivin.

Probe 130: Phäno-Quarz-Latiandesit

Fundort: Straße Tufiño--Tobar Donoso, 20,6 km westlich Tufiño, aus einer sehr deutlich horizontal abgesonderten Lava in 3930 m Höhe (Abb. 20).

Gesteinstyp: dichte, hellgraue Lava mit häufigen, fluidal eingeregelten Einsprenglingen von Plagioklas, Pyroxen und Olivin. Häufig sind allothigene Einschlüsse.

4.2 Mikroskopische Charakterisierung

4.2.1 Das Gefügebild der jungen Vulkanite

Sämtliche Gesteine weisen typische Vulkanit-Gefüge auf. Es herrschen große porphyrische Einsprenglinge in einer glasigen bis mikrokristallin ausgebildeten Grundmasse vor.
Alle in Tab. 1 und in den Abb. 21 bis 26 verwendeten Gefügebegriffe stammen von M. PFLEGHAAR (Tübingen), der zur Zeit eine Promotionsarbeit auf diesem Gebiet unter der Leitung von Prof. Dr. H. PICHLER durchführt.

Tab. 1: Zusammenstellung der wichtigsten Gefügemerkmale

Nr.	Grundmasse	Einsprenglinge	Besonderheiten
2	pilotaxitisch	hiatal-porphyrisch	hypidiomorph ungleichkörnige Kumulate
4	hyalopilitisch	"	hypidiomorph gleichkörnige Kumulate
6	"	"	poikilitischer Plagioklas
12	mikrolitisch	serial-porphyrisch	poikilitisch durchwachsene Pyroxene
15	"	hiatal-porphyrisch	panallotriomorphe, gleichkörnige Kumulate

Tab. 1: Fortsetzung

Nr.	Grundmasse	Einsprenglinge	Besonderheiten
31	mikrolitisch	hiatal-porphyrisch	poikilitische Plagioklase
32	hyalopilitisch-fluidal	porphyrisch fluidal	
33	grob pilotaxitisch fluidal	schwach porphyrisch	panallotriomorph gleichkörnig
39	holokristallin körnig	hiatal-porphyrisch	
46	pseudofluidal-pilotaxitisch	pseudofluidal-hiatal-porphyrisch	ignimbritisch
47	pseudofluidal, ignimbritisch	kristalloklastisch	heterogen radiolitisch
57	pilotaxitisch-fluidal	fluidal, serial Hbl.-porphyrisch, Plag.-porphyrisch	
63	pseudofluidal, ignimbritisch	kristalloklastisch	durch Entglasung heterogen sphärolitisch
64	hyalin, vereinzelte Mikrolithe	schwach vitrophyrisch	
65	pilotaxitisch-fluidal	schwach porphyrisch	
66	hyalopilitisch, fluidal, porös	Hbl.-serial porphyrisch, Plag.- und schwach Biotit-porphyrisch	
67	hyalin, schlierig, porös		z. T. wenig perlitisch (starke Spannungsdoppelbrechung)
69	hyalin schaumig, fluidal	kristalloklastisch	
71	hyalopilitisch, fluidal	schwach porphyrisch	
72	"	"	
76	hyalopilitisch, porös	Plag.-, Bi.-, Hbl.-serial porphyrisch	Olivin-Kumulate
78	ignimbritisch, porös	kristalloklastisch	
84	hyalopilitisch, porös	Plag.-hiatal-porphyrisch	

Tab. 1: Fortsetzung

Nr.	Grundmasse	Einsprenglinge	Besonderheiten
87	hyalin schaumig, fluidal	kristalloklastisch	
88	hyalopilitisch, fluidal	porphyrisch	
100	pilotaxitisch-fluidal bis serial		ophitische Kumulate
104	hyalin schaumig, fluidal	serial vitrophyrisch	
106	hyalopilitisch, wenig porös	serial porphyrisch	
107	hyalopilitisch	"	
115	"	"	hypidiomorph gleichkörnige Olivin-Kumulate
119	hyalopilitisch, wenig porös	"	panallotriomorph gleichkörnige Pyroxen-Kumulate
122	hyalopilitisch, wenig porös, fluidal	porphyrisch	
128	hyalopilitisch	porphyrisch	

4.2.2 Mikroskopische Beschreibung der wichtigsten Vulkanit-Typen unter Verwendung der Universal-Drehtisch-Messungen und Modal-Analysen

Vulkan Puracé

Probe 2: Quarz-Latiandesit (Abb. 21)

Grundmasse: Sanidin-Leisten: nach dem Karlsbader Gesetz verzwillingt, ca. 50 µm lang (6,5 Vol.-%);
Plagioklas-Leisten: nach dem Albit-Gesetz verzwillingt, meist 6 µm x 60 µm groß (23,2 Vol.-%);
Pyroxen: feine, schwach hellgrüne Leisten, ca. 50 µm lang (15,2 Vol.-%);
Erz: kleine Körnchen und Oktaeder mit ca. 5 µm Durchmesser (0,3 Vol.-%).

Einsprenglinge: Plagioklas: sehr stark korrodiert (poikilitisches Gefüge) und randlich resorbiert, stark zoniert und verzwillingt nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader Gesetz, enthält häufig Einschlüsse von Grundmasse, Pyroxen, Erz und Apatit, ca. bis zu 5 mm lange Kristalle (36,0 Vol.-%), mit An_{34--43} ein Andesin;
Oxybiotit: hell- bis rotbrauner Pleochroismus, stark opacitisiert, 90 µm x 360 µm groß (0,1 Vol.-%);

Abb. 21: Gefügebild der Probe 2: hiatal-porphyrische, fluidal eingeregelte Einsprenglinge und hypidiomorph ungleichkörnige Kumulate in einer pilotaxitischen Grundmasse.

Abb. 22: Gefügebild der Probe 32: porphyrische, fluidal eingeregelte Phänokristalle in einer hyalopilitisch-fluidalen Matrix.

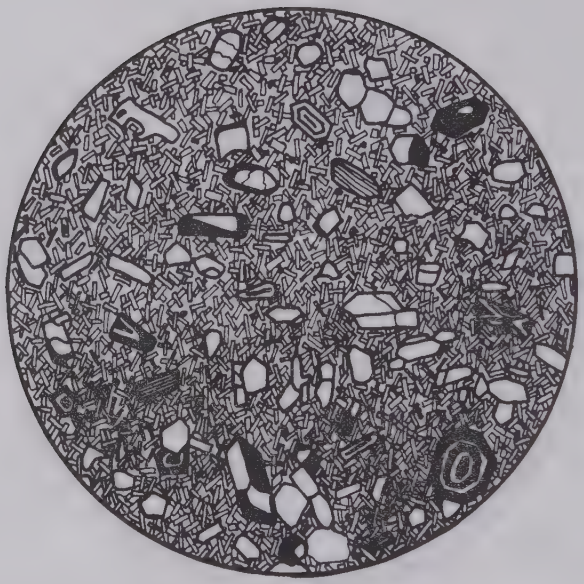


Abb. 23: Gefügebild der Probe 39: hiatal-porphyrische Einsprenglinge in einer holokristallin körnigen Grundmasse.

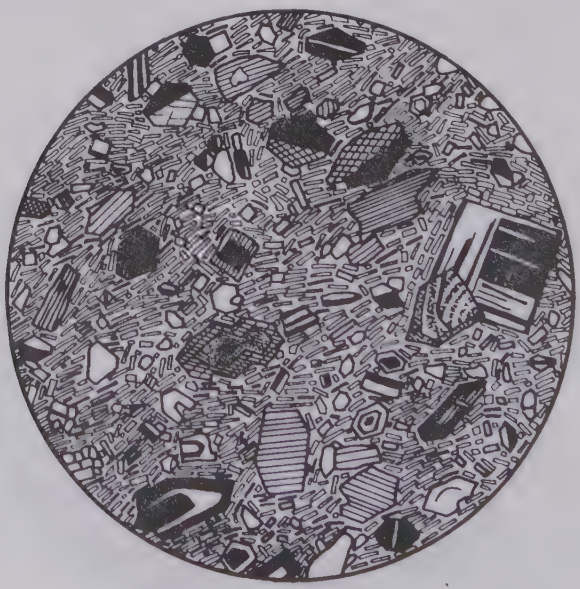


Abb. 24: Gefügebild der Probe 57: serial-porphyrische Phänokristalle in einer pilotaxitisch fluidalen Matrix.

Abb. 25: Gefügebild der Probe 63: kristalloklastische Einsprenglinge in pseudofluidal ignimbritischer Matrix, die heterogen sphärolithisch entglast ist.

Abb. 26: Gefügebild der Probe 87: kristalloklastische Phänokristalle in einer hyalin-schaumigen Grundmasse.

Oxyhornblende: mittel- bis dunkelbrauner Pleochroismus, oft verzwillingt nach (100), stark opacitisiert und korrodiert, mit 2 V_x = 59° und AS = 3--5°, ca. 1,6 mm lang (0,5 Vol.-%);
Klinopyroxen: schwach hellgrüner bis hellbrauner Pleochroismus, z. T. verzwillingt nach (101), meist von Rissen ausgehend smektitisiert und etwas opacitisiert, bis zu 0,6 mm x 1,4 mm groß, mit 2 V_z = 54° und AS = 43° ein diopsidischer Augit (3,6 Vol.-%);
Orthopyroxen: schwach hellbrauner Pleochroismus, z. T. etwas opacitisiert, bis zu 0,6 mm x 1,6 mm groß, mit 2 V_x = 60° und AS = 0° ein Hypersthen (4,2 Vol.-%), z. T. mit Entmischungsspindeln von Augit im Kernbereich.

Akzessorien: Magnetit, Ilmenit (zusammen 6,9 Vol.-%) und Apatit (1,3 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Hämatit, Opacit, Goethit und Smektit (zusammen 2,4 Vol.-%).

Probe 4: Quarz-Latiandesit

Grundmasse: frisches dunkelbraunes Glas (10 Vol.-%);
Plagioklas-Leisten: feine, undeutlich erkennbare, ca. 3 µm lange, nach dem Albit-Gesetz verzwillingte Kristalle (27,9 Vol.-%);
Erz: viele kleine, ca. 1 µm große Magnetit-Oktaeder (4,2 Vol.-%).

Einsprenglinge: Plagioklas: stark korrodiert und randlich resorbiert, zoniert und verzwillingt nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader Gesetz, Einbuchtungen von Grundmasse sind häufig, Einschlüsse von Pyroxen, Erz und Apatit, z. T. von Rissen ausgehende Smektitisierung, bis zu 6 mm lange Kristalle (37,5 Vol.-%), mit An_{37--57} ein Andesin bis Labradorit;
Klinopyroxen: schwach hellgrüner bis hellbrauner Pleochroismus, immer korrodiert und oft auch etwas opacitisiert, meist verzwillingt nach (100) und (101), nicht selten zoniert, mit 2 V_z = 52° und AS = 43° ein diopsidischer Augit, bis zu 1,3 mm x 0,4 mm groß (3,5 Vol.-%);
Orthopyroxen: hellbrauner Pleochroismus, ca. bis zu 1 mm lang, mit 2 V_x = 55° und AS = 0° ein Hypersthen (5,7 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit und Ilmenit (zusammen 5,1 Vol.-%), Apatit (1,6 Vol.-%), Cristobalit (2 Vol.-%) und selten Tridymit (0,1 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Goethit, Smektit und Leukoxen (zusammen 2,4 Vol.-%).

Probe 6: Quarz-Latiandesit

Grundmasse: frisches, farbloses Glas (14 Vol.-%); viele Poren (18,7 Vol.-%);
Sanidin-Leisten: bis zu 50 µm lang, mit Karlsbader Zwillingen (4,7 Vol.-%);
Plagioklas: mit An_{28--32} Oligoklas bis Andesin-Leisten, ca. 50 µm lang (25,7 Vol.-%);
Pyroxen: feine, schwach hellgrüne, ca. 40 µm lange Leisten (0,9 Vol.-%);
Erz: kleine, ca. 5 µm große Körnchen (1,4 Vol.-%).

Einsprenglinge: Plagioklas: stark korrodiert und smektitisiert (poikilitisches Gefüge), randlich resorbiert, zoniert und verzwillingt nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader Gesetz, Einschlüsse von Pyroxen, Erz und wurmförmigem Apatit, bis zu 4 mm lange Kristalle, mit An_{37--60} Andesin bis Labradorit (18,1 Vol.-%);
Klinopyroxen: farbloser bis hellbrauner Pleochroismus, stark korrodiert und randlich resorbiert, z. T. wenig opacitisiert, oft zoniert und verzwillingt nach (100) und (101), mit 2 V_z = 50° und AS =40° ein diopsidischer Augit, bis zu 1,8 mm x 0,5 mm groß (2,5 Vol.-%);

Orthopyroxen: schwach hellbrauner Pleochroismus, z. T. etwas opacitisiert, schwach korrodiert und resorbiert, oft Einschlüsse von Apatit-Nadeln, mit $2 V_x = 56°$ und AS = 0° ein Hypersthen, bis zu 0,9 mm x 2 mm groß (7,8 Vol.-%);
Olivin: schwach hellgrün bis farblos, zoniert und zerbrochen, wenige Picotit-Einschlüsse, tritt immer in Anhäufungen (Kumulaten) auf, mit $2 V_x = 88°$ recht eisenarm (Chrysolith mit Fa_{20}), bis zu 0,4 mm x 0,6 mm groß (1,2 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit und Ilmenit (0,9 Vol.-%), Apatit (1,7 Vol.-%) und Picotit (0,1 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Smektit, Opacit und Leukoxen (zusammen 0,9 Vol.-%).

Probe 12: Quarz-Latiandesit

Grundmasse: Plagioklas-Leisten: mit An_{30--34} Andesin, bis zu ca. 60 µm x 200 µm groß, nach dem Albit-Gesetz verzwillingt (23,2 Vol.-%);
Pyroxen: feine, hellgrüne bis farblose Leisten, ca. 150 µm lang (2,9 Vol.-%);
Erz: kleine, ca. 3 µm große Magnetit-Körnchen und z. T. idiomorphe Oktaeder (2,9 Vol.-%).

Einsprenglinge: Plagioklas: sehr stark korrodiert, randlich resorbiert, stellenweise isotropisiert durch Tonmineralbildung, zoniert und verzwillingt nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader Gesetz, immer Einschlüsse von Pyroxen, Erz, Apatit und Grundmasse, mit An_{42--69} Andesin bis Labradorit, bis zu 4 mm x 8 mm große Kristalle (45,6 Vol.-%);
Klinopyroxen: schwach hellbraun, oft korrodiert und opacitisiert, von Rissen ausgehend bastitisiert, oft verzwillingt nach (100) und (101), randlich z. T. resorbiert, bis zu 3,2 mm x 1 mm groß, enthält Einschlüsse von Magnetit und Apatit, mit $2 V_z = 50°$ und AS = 41° ein diopsidischer Augit (7,5 Vol.-%);
Orthopyroxen: schwach hellbraun, randlich opacitisiert und etwas resorbiert, leicht zoniert, mit $2 V_x = 64°$ und AS = 0° ein Hypersthen und mit $2 V_z = 89°$ und AS = 0° ein Bronzit, ca. bis zu 0,2 mm x 0,45 mm groß, randlich und von Rissen ausgehende Bastitisierung (4,3 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit und Ilmenit (5,3 Vol.-%) und Apatit (1,4 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Opacit, Smektit, Bastit und Leukoxen (zusammen 7 Vol.-%).

Probe 15: Quarz-Latiandesit

Grundmasse: frisches, dunkelbraunes Glas (4,5 Vol.-%);
Plagioklas-Leisten: nach dem Albit-Gesetz verzwillingt, ca. 2 µm x 15 µm groß (38,3 Vol.-%);
Pyroxen-Leisten: schwach hellgrün, z. T. mit Erz-Einschlüssen, ca. bis zu 20 µm lange Kristalle (0,9 Vol.-%);
Erz: kleine, idiomorphe Körnchen mit ca. 2 µm Durchmesser (1,3 Vol.-%).

Einsprenglinge: Plagioklas: randlich wenig resorbiert, nur selten schwach korrodiert, selten smektitisiert, zoniert und verzwillingt nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader Gesetz, bis zu 4 mm x 10 mm groß, mit An_{37--57} ein Andesin bis Labradorit (34,3 Vol.-%);
Hornblende: olivgrüner bis olivbrauner Pleochroismus, randlich stark opacitisiert und resorbiert, z. T. randlich in Pyroxen umgewandelt, bis zu ca. 38 µm x 380 µm groß, mit AS = 18° Hastingsit (1,3 Vol.-%);

Klinopyroxen: hellgrüner bis hellbrauner Pleochroismus, randlich selten resorbiert, überwiegend idiomorphe, bis zu 1 mm x 2 mm große Kristalle, meist lamellar verzwillingt nach (100), aber auch Zwillinge nach (010) und (101), schwach zoniert, ummantelt gelegentlich den früher gebildeten Orthopyroxen radialstrahlig, mit $2V_z = 54°$ und AS = 40° ein diopsidischer Augit, enthält Einschlüsse von Erz und Apatit (5,6 Vol.-%);
Orthopyroxen: sehr schwacher Pleochroismus von hellgrün nach hellbraun, randlich etwas resorbiert, z. T. in Klinopyroxen übergehend, wenig opacitisiert, bis zu 0,5 mm x 1,2 mm große, unverzwillingte, idiomorphe Kristalle, enthält Einschlüsse von Magnetit, Ilmenit und Apatit, mit $2V_x = 65°$ und AS =0° ein Hypersthen (4,8 Vol.-%);
Olivin: farblos, stark zerbrochen, immer in Hohlräumen anzutreffen, mit $2V_x = 86°$ ein eisenarmer Chrysolith (Fa_{21}), meist ca. 0,1 mm x 0,24 mm groß, als Relikt in Kumulaten angereichert (1,8 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit, Ilmenit und selten Hämatit (zusammen 6,2 Vol.-%), wurmförmiger Apatit (0,5 Vol.-%) und Cristobalit (0,5 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Leukoxen, Opacit und Leukoxen (zusammen 0,2 Vol.-%).

Merenberg-Vulkan

Probe 31: Quarz-Andesit

Grundmasse: Plagioklas-Leisten: ca. 4 bis 20 µm lange, nach dem Albit-Gesetz verzwillingte Andesine mit An_{35--43} (47,4 Vol.-%);
Pyroxen-Leisten: ca. 5 bis 15 µm lange, schwach hellgrüne Kristalle (9,5 Vol.-%);
Erz: kleine runde oder idiomorphe Körnchen, meist 4 µm Durchmesser (6,3 Vol.-%).

Einsprenglinge: Plagioklas: schwach korrodiert, randlich stark resorbiert, besitzt einen Reaktionssaum mit der Grundmasse, selten kaolinisiert, häufig Einbuchtungen von Matrix, zoniert und verzwillingt nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader Gesetz, bis zu 5 mm lange Kristalle, Einschlüsse von Pyroxen, Erz, Apatit und Grundmasse, mit An_{42--56} ein Andesin bis Labradorit (18,9 Vol.-%);
Klinopyroxen: hellgrüner bis hellbrauner Pleochroismus, z. T. beginnende Opacitisierung, stark korrodiert und randlich resorbiert, z. T. poikilitische Durchwachsung von Erz, Apatit und Plagioklas, meist verzwillingt nach (010) und (101) sowie lamellar nach (100), oft als Ummantelung des früher gebildeten Orthopyroxens, meist deutlich zoniert, bis zu 0,9 mm x 2,9 mm große Kristalle, mit $2V_z = 51°$ und AS = 42° ein diopsidischer Augit (6,5 Vol.-%);
Orthopyroxen: hellgrüner bis hellbrauner Pleochroismus, teilweise opacitisiert, Einschlüsse von Ilmenit und Apatit, bis zu 230 µm x 570 µm große unverzwillingte, randlich resorbierte Kristalle, optisch negativ, Hypersthen bis Bronzit mit $2V_x = 65°$ und AS = 0° (3,2 Vol.-%);
Olivin: farblose, idiomorphe Kristalle mit sechsseitigem Umriß, selten gerundet, randlich beginnende Iddingsitisierung, viele Picotit-Einschlüsse (braune Oktaeder), bis zu 0,9 mm x 1,4 mm groß (4 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit, Ilmenit, Picotit und Hämatit (zusammen 2,8 Vol.-%), Zirkon (0,1 Vol.-%), Apatit (0,2 Vol.-%) und Cristobalit (0,1 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Leukoxen, Opacit, Iddingsit und Kaolinit (zusammen 0,9 Vol.-%).

Probe 32: Quarz-Latiandesit (Abb. 22)

Grundmasse: frisches, mittelbraunes Glas (7 Vol.-%);
Sanidin-Leisten: nach dem Karlsbader Gesetz verzwillingt, meist bis zu 50 µm lange Kristalle (7 Vol.-%);
Plagioklas: nach dem Albit-Gesetz verzwillingt, 2 bis 81 µm lang, mit An_{28--34} Oligoklas bis Andesin (46,7 Vol.-%);
Pyroxen: schwach grünliche, bis zu 80 µm lange Leisten, überwiegend aus Klinopyroxen bestehend (5,6 Vol.-%);
Erz: kleine, meist 4 µm große, runde oder idiomorphe Körnchen (3,5 Vol.-%).

Einsprenglinge: Plagioklas: großteils stark resorbiert und kantengerundet, teilweise smektitisiert, wenig zoniert, meist verzwillingt nach dem Albit- und dem Karlsbader Gesetz, Einschlüsse von Pyroxen, Apatit und Erz, mit An_{45--63} Andesin bis Labradorit, bis zu 6 mm lang (13,6 Vol.-%);
Klinopyroxen: schwacher Pleochroismus von hellgrün nach hellbraun, meist stark korrodiert, z. T. opacitisiert, häufig als Reaktionssaum um Orthopyroxen gebildet, häufig verzwillingt nach (101), (010) und (100), Einschlüsse von Erz und Plagioklas, bis zu 0,9 mm x 1,9 mm groß, selten deutlich zoniert, mit $2\,V_z = 53°$ und AS = 43° diopsidischer Augit (5,8 Vol.-%);
Orthopyroxen: schwach hellgrün, kaum merklicher Pleochroismus, häufig von Klinopyroxen umwachsen, mit $2\,V_x = 65°$ und AS = 0° ein Hypersthen, wenige Einschlüsse von Apatit und Erz, randlich resorbiert (4,5 Vol.-%);
Olivin: farblose, korrodierte und zerbrochene, selten idiomorphe Kristalle, meist 140 µm x 380 µm groß, immer randlich extrem stark resorbiert, mit $2\,V_x = 83°$ ein Chrysolith (Fa_{27})(2,1 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit und Ilmenit (zusammen 3,4 Vol.-%) und Apatit (0,2 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Opacit, Leukoxen und Smektit (zusammen 0,8 Vol.-%).

Probe 33: Quarz-normativer Tholeiit-Hawaiit

Grundmasse: Plagioklas-Leisten: feine, 90 µm x 130 µm große Kristalle, nach dem Albit-Gesetz verzwillingt, mit An_{53--57} Labradorit (48,4 Vol.-%);
Pyroxen: kleine, bis zu 100 µm lange Kristalle, überwiegend Klinopyroxen (14,5 Vol.-%);
Olivin: kleine, runde, bis zu 10 µm große Olivine (14,5 Vol.-%);
Erz: viele, meist 5 bis 9 µm große, runde bis oktaedrische Körner (17,4 Vol.-%).

Einsprenglinge: Klinopyroxen: schwach bräunlich mit deutlichen Spaltrissen, von Rissen und vom Rand ausgehende Bastitisierung, Einschlüsse von Erz, z. T. verzwillingt nach (010), bis zu 230 µm x 700 µm große Diopside mit $2\,V_z = 55°$ und AS = 39° (1 Vol.-%);
Orthopyroxen: schwach hellbraune, bis zu 400 µm x 320 µm große Kristalle, mit $2\,V_z = 88°$ und AS = 0° Bronzit, schwach zoniert (0,2 Vol.-%);
Olivin: farblose, stark zerbrochene, randlich resorbierte und bräunlich iddingsitisierte Kristalle, bis zu 700 µm x 800 µm groß, mit $2\,V_x = 86--88°$ Chrysolith (Fa_{15--22})(2 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit (1 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Bastit und Iddingsit (zusammen 1 Vol.-%).

Isnos-Acevedo-Vulkangebiet

Probe 39: Mela-Olivin-Nephelin-Tephriphonolith (Abb. 23)

Grundmasse: Plagioklas: selten, optisch positiv, zoniert, bis zu ca. 100 µm groß, auch als Zwickelfüllung zwischen den Pyroxenen;
Pyroxen: feine, 20 µm bis 100 µm lange Leisten, sehr häufig;
Erz: häufig, bis zu 10 µm große Körnchen.

Einsprenglinge: Klinopyroxen: idiomorphe, häufig randlich einseitig resorbierte, im Kernbereich stark korrodierte, zonierte, hellbraune Kristalle mit Sanduhrstruktur, bis zu 0,5 mm x 1 mm große, seltene Titanaugite;
Olivin: farblose, idiomorphe Kristalle mit breitem Iddingsit-Saum, optisch negativ, z. T. Zwillinge, deutliche Spaltbarkeit nach (010) und (100), meist Einschlüsse von Picotit, etwas korrodiert, bis zu 0,6 mm x 1,4 mm großer Chrysolith, sehr häufig.

Akzessorien: Magnetit und Picotit.

Sekundärprodukte: Iddingsit.

Vulkangebiet östlich Popayan

Probe 46: Quarz-Latiandesit

Grundmasse: Sanidin-Leisten: nach dem Karlsbader Gesetz verzwillingte, ca. 15 µm x 170 µm große Kristalle (10,5 Vol.-%);
Plagioklas: nach dem Albit-Gesetz verzwillingte Leisten, ca. 10 µm x 200 µm groß, mit An_{30--36} Andesin (34,1 Vol.-%);
Pyroxen: schwach hellgrüne, bis zu 100 µm lange Leisten (5,2 Vol.-%);
Erz: meist 3 µm große, runde Körnchen (2,6 Vol.-%).

Einsprenglinge: Plagioklas: zoniert und verzwillingt nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader Gesetz, etwas korrodiert, randlich und von Rissen ausgehend sowie zonenweise resorbiert, Einschlüsse von Erz, Pyroxen, Apatit und Grundmasse, Einbuchtungen sind typisch, bis zu 3 mm lange Kristalle, mit An_{38--57} Andesin bis Labradorit (24,1 Vol.-%);
Oxyhornblende: brauner Pleochroismus, bis auf ein Exemplar sind alle Kristalle vollständig opacitisiert, alle Hornblenden sind etwa gleich groß (100 µm x 500 µm)(13,7 Vol.-%);
Klinopyroxen: farbloser bis schwach hellgrüner Pleochroismus, randlich resorbiert und etwas opacitisiert, z. T. wenig zoniert, oft verzwillingt nach (010) und (101), Einschlüsse von Erz und Apatit, bis zu 1,6 mm x 0,5 mm groß, mit $2\,V_z = 55°$ und $AS = 38°$ Diopsid (3,5 Vol.-%);
Orthopyroxen: schwach hellbrauner Pleochroismus, wenig opacitisiert, stark korrodiert und randlich resorbiert, Einschlüsse von Erz und Apatit, optisch negativ, bis zu 280 µm x 450 µm groß, Hypersthen (2,2 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit und Ilmenit (zusammen 2,9 Vol.-%), Apatit (0,3 Vol.-%) mit feinsten, orientierten Hämatit-Einlagerungen und Zirkon (0,1 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Leukoxen, Opacit und Goethit (zusammen 0,8 Vol.-%).

Probe 47: Alkalifeldspat-Rhyolith

Grundmasse: mittelbraune, total zu Sphärolithen (Analbit und Tief-Cristobalit) rekristallisierte Glasphase (77,7 Vol.-%).

Einsprenglinge: Quarz: sog. "Bucht-Quarze" mit Einschnürungen und Einschlüssen von Grundmasse, randlich resorbiert und gerundet, Einschlüsse von Erz und Apatit, ca. 800 µm Durchmesser (2,1 Vol.-%);
"Anorthoklas": z. T. zoniert, mit deutlich ausgeprägter Zwillingslamellierung (Albit-Gesetz, aber auch Mikroklin-Gitterung), also mikroskopisch inhomogen, d. h., der (K, Ca)-Analbit ist wesentlicher Bestandteil. Die Kristalle innerhalb eines Schliffes schwanken stark in ihrer Zusammensetzung: Or_{7--12} Ab_{75--77} An_{12--18}. Einschlüsse von Erz, Apatit und Grundmasse, häufig mit Einbuchtungen von Grundmasse, bis zu 1,7 mm x 1,6 mm groß, mit $2\,V_x = 55°$ (17,9 Vol.-%);
Oxybiotit: rotbrauner bis schwarzbrauner Pleochroismus, mit $2\,V_x = 18°$, Einschlüsse von Erz und Zirkon, bis zu 400 µm x 630 µm groß (1,8 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit und Ilmenit, bis zu 0,3 mm x 0,5 mm groß (zusammen 0,5 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Leukoxen (weniger als 0,1 Vol.-%) sowie Analbit und Tief-Cristobalit pseudomorph nach Glas.

Probe 57: Quarz-Latiandesit (Abb. 24)

Grundmasse: frisches, hellgrünes Glas (9,4 Vol.-%);
Sanidin: nach dem Karlsbader Gesetz verzwillingte, bis zu 120 µm lange Leisten (12,5 Vol.-%);
Plagioklas: nach dem Albit-Gesetz verzwillingte, bis zu 200 µm lange Leisten, mit An_{28--35} Oligoklas bis Andesin (37,6 Vol.-%);
Erz: kleine, meist runde, ca. 5 µm große Kristalle (3,1 Vol.-%).

Einsprenglinge: Plagioklas: randlich sehr stark resorbiert, mit Einbuchtungen von Grundmasse, zoniert und verzwillingt nach dem Karlsbader Gesetz und selten nach dem Albit-Gesetz, Einschlüsse von Erz, Apatit, Zirkon und Hornblende, z. T. korrodiert, mit An_{29--50} Oligoklas bis Andesin, bis zu 2,2 mm x 1,6 mm groß, inverse Zonierung (Analyse!)(5,8 Vol.-%);
Hornblende: a) olivgrüner bis brauner Pleochroismus, sehr stark zoniert, randlich resorbiert, in der Mitte korrodiert, oft verzwillingt nach (100), Einschlüsse von Erz und Grundmasse, etwas opacitisiert, mit $2\,V_x = 80--84°$ und AS = 7--9° eine kaersutitische Hornblende (Analyse!)(25,7 Vol.-%);
b) hellgrüner bis olivgrüner Pleochroismus, kein Zonarbau, etwas korrodiert und opacitisiert, mit $2\,V_x = 86°$ und AS = 18° eine hastingsitische Hornblende (2,3 Vol.-%); insgesamt bis zu 2 mm x 6 mm große Kristalle;
Klinopyroxen: ein 200 µm x 300 µm großes Kumulat aus schwach hellgrünen, von kaersutitischer Hornblende umwachsenen Kristallen (weniger als 0,1 Vol.-%);
Orthopyroxen: ein 100 µm großes Kumulat aus farblosen, von Hornblende umwachsenen Bronzit-Kristallen (weniger als 0,1 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit und Ilmenit (zusammen 1,6 Vol.-%) und Apatit (0,2 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Opacit.

Vulkangebiet westlich Popayan

Probe 63: Alkalifeldspat-Rhyolith (Abb. 25)

Grundmasse: mittelbraune, total zu Sphärolithen (Analbit und Tief-Cristobalit) rekristallisierte Glasphase (77,6 Vol.-%).

Einsprenglinge: Quarz: gerundete und zerbrochene "Bucht-Quarze", bis zu 1,2 mm groß, Einschlüsse von Erz, Apatit und Matrix (2 Vol.-%);
"Anorthoklas": zoniert, deutliche Verzwillingung mit feinster Albit- und Periklin-Gitterung, also mikroskopisch inhomogen, d. h., (K, Ca)-Analbit ist wesentlicher Bestandteil, Einschlüsse von Erz, Apatit, Zirkon und Grundmasse, bis zu 3 mm x 5 mm große Kristalle mit Einbuchtungen und total resorbierten Rändern, $2\,V_x = 56°$ (18 Vol.-%);
Oxybiotit: rotbrauner bis schwarzbräuner Pleochroismus, bis zu 300 µm x 800 µm groß, Einschlüsse von Erz und Zirkon, mit $2\,V_x = 18°$ (1,8 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit, Ilmenit und Hämatit (zusammen 0,5 Vol.-%), Apatit (0,1 Vol.-%) und Zirkon (0,1 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Goethit und Tonminerale (zusammen 0,1 Vol.-%) sowie Analbit und Tief-Cristobalit pseudomorph nach Glas.

Vulkan Sotará

Probe 64: Alkalifeldspat-Rhyolith

Grundmasse: frisches, schwach hellbraunes bis farbloses Glas (85,5 Vol.-%);
"Anorthoklas"-Mikrolithe: winzige, ca. 30 bis 100 µm lange Nadeln (9,3 Vol.-%);
Erz und Biotit: kleine Körner bzw. Nädelchen (0,6 Vol.-%).

Einsprenglinge: Quarz: gerundet und zerbrochen, bis zu 2,5 mm Durchmesser (0,1 Vol.-%);
"Anorthoklas": zoniert und verzwillingt nach dem Albit- und Karlsbader Gesetz, also ebenfalls (K, Ca)-Analbit als wesentlicher Bestandteil, die Zusammensetzung schwankt innerhalb eines Schliffes stark: Or_{3--4} Ab_{74--77} An_{19--23}, Einschlüsse von Erz, Apatit und Glas sind selten, $2\,V_x = 53°$ (2,8 Vol.-%);
Cordierit: farblos mit idiomorphen Umrissen, meist etwas gerundet und zerbrochen, bis zu 1,4 mm x 1,6 mm groß, mit $2\,V_x = 70°$ (0,8 Vol.-%);
Oxybiotit: rotbrauner bis schwarzbrauner Pleochroismus, bis zu 500 µm lange Nadeln (0,4 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit (0,4 Vol.-%), Apatit (0,1 Vol.-%) und Zirkon (0,1 Vol.-%).

Probe 65: Leuko-Quarz-Latiandesit

Grundmasse: frisches, schwach hellbraunes Glas (3,8 Vol.-%);
Sanidin: kleine, ca. 70 µm lange Leisten, nach dem Karlsbader Gesetz verzwillingt (8,5 Vol.-%);
Plagioklas: nach dem Albit-Gesetz verzwillingte, bis zu 100 µm lange Leisten mit An_{28--33} von Oligoklas bis Andesin (68 Vol.-%);
Erz: runde bis oktaedrische, ca. 10 µm große Körnchen (4,2 Vol.-%).

Einsprenglinge: Sanidin: wenige, nach dem Karlsbader Gesetz verzwillingte, bis zu 280 µm lange Kristalle (0,3 Vol.-%);
Plagioklas: zoniert und verzwillingt nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader Gesetz, stark korrodiert, bis zu 2,1 mm x 1 mm große Kristal-

le, gerundet, mit An_{43--56} Andesin bis Labradorit (3,3 Vol.-%);
Oxybiotit: rotbrauner bis schwarzbrauner Pleochroismus, bis zu 2,1 mm x 0,1 mm große, stark opacitisierte Kristalle (0,5 Vol.-%);
Oxyhornblende: hellbrauner bis rotbrauner Pleochroismus, z. T. schwach zoniert, vom Rande her stark opacitisiert, z. T. im Kern korrodiert, selten verzwillingt nach (100), bis zu 1,1 mm x 0,2 mm groß, total opacitisierte Exemplare überwiegen (2,3 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit, Ilmenit und Hämatit (zusammen 1,1 Vol.-%), Apatit (0,1 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Opacit (8,1 Vol.-%) pseudomorph nach Oxyhornblende.

Probe 66: Leuko-Quarz-Latiandesit

Grundmasse: frisches, hellbraunes Glas (29,6 Vol.-%);
Plagioklas: bis zu 20 µm lange, nach dem Albit-Gesetz verzwillingte Kristalle, mit An_{30--34} Andesin (29 Vol.-%);
Erz: quadratische bis runde, 1 bis 3 µm große Körnchen (0,3 Vol.-%).

Einsprenglinge: Sanidin: selten auftretende, 200 bis 300 µm lange Leisten, nach dem Karlsbader Gesetz verzwillingt (0,1 Vol.-%);
Plagioklas: stark korrodiert, randlich sichtbare Resorption (Schlieren!), stark poikilitisch von Erz und Glas durchsetzt, Einschlüsse von Erz, Apatit und selten Hornblende, bis zu 5 mm lang, mit An_{30--47} Andesin, immer zoniert, nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader Gesetz verzwillingt (26,2 Vol.-%);
Oxybiotit: dunkelbrauner bis schwarzer Pleochroismus, randlich z. T. von Hornblende ummantelt und wenig resorbiert, Einschlüsse von Erz und Plagioklas, bis zu 0,8 mm x 1 mm groß (1,3 Vol.-%);
Oxyhornblende: hellbrauner bis dunkelbrauner Pleochroismus, häufig verzwillingt nach (100), Einschlüsse von Plagioklas, Erz und Apatit sind selten, randlich resorbiert, bis zu 2,1 mm x 0,7 mm groß, z. T. vom Kern ausgehende Opacitisierung, $2V_x = 62°$ und AS = 4--5° (8,9 Vol.-%);
Klinopyroxen: deutlicher Pleochroismus von hellgrün nach mittelbraun, selten Einschlüsse von Erz und Apatit, randlich wenig resorbiert, bis zu 1,4 mm x 0,5 mm groß, mit $2V_z = 26°$ und AS = 39° noch ins Augit-Feld gehörend (0,7 Vol.-%);
Orthopyroxen: schwach bräunlich, randlich wenig resorbiert, mit $2V_x = 60°$ und AS = 0° ein Hypersthen, bis zu 100 µm x 300 µm groß (0,5 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit und Ilmenit (zusammen 2,7 Vol.-%) und Apatit (0,2 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Leukoxen (weniger als 0,1 Vol.-%).

Probe 67: Alkalifeldspat-Rhyolith

Grundmasse: frische, farblose Glasfasern (78,6 Vol.-%) und viele Poren (20 Vol.-%).

Einsprenglinge: "Anorthoklas": schwach zoniert und deutlich verzwillingt nach dem Albit- und Periklin-Gesetz, d. h., mikroskopisch inhomogen, besteht überwiegend aus (K, Ca)-Analbit, Einschlüsse von Erz und Apatit, bis zu 0,5 mm x 1,4 mm große, randlich resorbierte Kristalle (1 Vol.-%);
Oxybiotit: brauner bis dunkelbrauner Pleochroismus, bis zu 0,7 mm x 0,2 mm groß, mit $2V_x = 23°$, randlich schwach resorbiert (0,2 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit und Ilmenit (zusammen 0,1 Vol.-%) sowie Apatit (0,1 Vol.-%).

Probe 69: Leuko-Quarz-Latiandesit

Grundmasse: frisches, schwach hellbraunes Glas (41,4 Vol.-%) und viele Poren (43,4 Vol.-%).

Einsprenglinge: Plagioklas: randlich stark resorbiert und in Glasfasern übergehend, zoniert und verzwillingt nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader Gesetz, Einschlüsse von Erz und Apatit, bis zu 1,2 mm große Kristalle, mit An_{33-55} ein Andesin bis Labradorit, optisch negativer Andesin überwiegt (10,2 Vol.-%);
Hornblende: kräftiggrüner bis hellbrauner Pleochroismus, wenig korrodiert, selten Einschlüsse von Erz, ein Kristall ist Kern von einem Hypersthen, bis zu 1 mm x 0,5 mm groß, mit $2\,V_x = 80°$ und AS = 17° ein Femaghastingsit (3 Vol.-%);
Orthopyroxen: farblos bis hellbraun, wenig korrodiert, mit $2\,V_x = 60°$ und AS = 0° ein Hypersthen (1,1 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit und Ilmenit (zusammen 0,7 Vol.-%) sowie Apatit (0,2 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Leukoxen in Ilmenit.

Probe 71: Dacit

Grundmasse: rötlichbraunes, durch feinverteilten Hämatit gefärbtes Glas (18 Vol.-%);
Sanidin-Leisten: bis zu 100 µm lang, nach dem Karlsbader Gesetz verzwillingt (18 Vol.-%);
Plagioklas: bis zu 150 µm lang, nach dem Albit-Gesetz verzwillingt, feine Leisten, mit An_{25-36} Oligoklas bis Andesin (49,5 Vol.-%);
Erz: feinverteilte, 2 bis 5 µm große Körnchen von Hämatit und selten Magnetit (4,5 Vol.-%).

Einsprenglinge: Plagioklas: a) 1. Generation: randlich total kaolinisiert, 0,6 mm x 0,4 mm groß und verzwillingt nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader Gesetz (0,5 Vol.-%). b) 2. Generation: randlich wenig resorbiert, idiomorphe Kristalle, bis zu 1,3 mm x 1 mm groß, Einschlüsse von Erz, Apatit und selten von Grundmasse, mit An_{42-56} Andesin bis Labradorit, zoniert und verzwillingt nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader Gesetz (3,2 Vol.-%);
Oxybiotit: rötlichbrauner bis hellbrauner Pleochroismus, randlich stark opacitisiert, bis zu 1,1 mm x 0,1 mm groß, Einschlüsse von Erz und Plagioklas, $2\,V_x = 18°$ (0,4 Vol.-%);
Oxyhornblende: rötlichbrauner bis hellbrauner Pleochroismus, oft randlich opacitisiert, häufig im Kernbereich korrodiert, Einschlüsse von Plagioklas, wenig zoniert, $2\,V_x = 61°$ und AS = 0--5°, bis zu 1,1 mm x 0,3 mm groß (2,8 Vol.-%);
Orthopyroxen: schwach gelblich, randlich wenig resorbiert, optisch negativ, ca. 100 µm x 300 µm groß, Hypersthen (0,1 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit, Ilmenit und Hämatit (zusammen 3,2 Vol.-%) sowie Apatit (0,1 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Leukoxen und Goethit.

Probe 72: Leuko-Quarz-Latiandesit

Grundmasse: frisches, farbloses Glas (19,7 Vol.-%);
Sanidin-Leisten: nach dem Karlsbader Gesetz verzwillingt, ca. 100 µm lang (13,5 Vol.-%);
Plagioklas-Leisten: nach dem Albit-Gesetz verzwillingt, ca. 80 µm lang, mit An_{31--33} Andesin (53,8 Vol.-%);
Erz: kleine, runde oder oktaedrische Magnetit-Körnchen mit 2 bis 5 µm Durchmesser (2,7 Vol.-%).

Einsprenglinge: Plagioklas: teils frisch, teils abgerundet und stark korrodiert, randlich resorbiert und von Rissen ausgehende Smektitisierung, bis zu 0,7 mm x 1,3 mm groß, Einschlüsse von Apatit und Erz, mit An_{41--47} Andesin (4,2 Vol.-%);
Biotit: farbloser bis brauner Pleochroismus, stark opacitisiert, mit $2V_x = 8°$ ein Meroxen, bis zu 1,1 mm x 0,05 mm groß (0,4 Vol.-%);
Hornblende: hellbrauner bis olivbrauner Pleochroismus, deutlich zoniert, oft nach (100) verzwillingt, im Kern oft korrodiert, randlich und vom Kern ausgehend opacitisiert, Einschlüsse von Erz und Grundmasse, mit $2V_x = 67°$ und AS = 17° ein Femaghastingsit, bis zu 1,5 mm x 0,5 mm groß (3,1 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit, Ilmenit und Hämatit (zusammen 2,5 Vol.-%) sowie Apatit (0,1 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Leukoxen und Opacit pseudomorph nach Hornblende.

Vulkan Doña Juana

Probe 76: Leuko-Quarz-Latiandesit

Grundmasse: frisches, farbloses Glas (26,2 Vol.-%);
Sanidin-Leisten: nach dem Karlsbader Gesetz verzwillingt, meist 5 µm x 40 µm groß (6,2 Vol.-%);
Plagioklas: nach dem Albit-Gesetz verzwillingt, ca. 60 µm lange Leisten, mit An_{32--35} Andesin (51,2 Vol.-%);
Pyroxen: schwach hellgrüne, bis zu 70 µm lange Leisten (3,1 Vol.-%);
Erz: runde und quadratische, 5 bis 10 µm große Querschnitte (1,9 Vol.-%).

Einsprenglinge: Quarz: total gerundet und zerklüftet, bis zu 2 mm große Kristalle, selten Einschlüsse von Apatit (1,4 Vol.-%);
Plagioklas: meist frisch, selten korrodiert und von Erz, Apatit, Pyroxen und Glas durchsetzt, randlich resorbiert, zoniert und verzwillingt nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader Gesetz, bis zu 6 mm x 2,4 mm groß, mit An_{35--62} Andesin bis Labradorit (19,6 Vol.-%);
Oxybiotit: rotbrauner bis schwarzer Pleochroismus, Einschlüsse von Plagioklas, Erz und Apatit, randlich resorbiert und opacitisiert, bis zu 1 mm x 3,5 mm groß, z. T. randlich in Hornblende übergehend mit gleicher Orientierung der C-Achse, $2V_x = 19°$ (0,8 Vol.-%);
Oxyhornblende: hellbrauner bis dunkelbrauner Pleochroismus, häufig poikilitisch von Plagioklas durchsetzt, randlich resorbiert und opacitisiert, bis zu 2 mm x 3 mm groß, mit $2V_x = 60°$ und AS = 4--7° (6,9 Vol.-%);
Klinopyroxen: farbloser bis schwach hellgrüner Pleochroismus, selten opacitisiert, z. T. verzwillingt nach (100), meist 100 µm x 300 µm groß (1,2 Vol.-%), mit $2V_z = 57°$ und AS = 38° Diopsid (Analyse!);

Orthopyroxen: schwach hellbraune, bis zu 200 µm x 600 µm große Leisten, randlich resorbiert und opacitisiert, optisch negativ, Bronzit (0,7 Vol.-%);
Olivin: farblose, gerundete Kristalle, in Kumulaten angereichert, mit $2V_x = 87°$ ein Chrysolith (Fa_{18}), bis zu 230 µm x 430 µm groß (2,5 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit und Ilmenit (zusammen 2 Vol.-%), Apatit (0,4 Vol.-%), idiomorpher Zirkon (0,1 Vol.-%) und pseudokubischer Cristobalit (1,8 Vol.-%) als Hohlraumfüllung.

Sekundärprodukte: Leukoxen in Ilmenit.

Probe 78: Dacit

Grundmasse: frisches, hellbraunes Glas (37,5 Vol.-%);
Plagioklas: zoniert und nach dem Albit-Gesetz verzwillingt, 10 bis 50 µm lange Leisten, mit An_{33--37} Andesin (12,5 Vol.-%)

Einsprenglinge: Quarz: gerundet, randlich resorbiert mit Einbuchtungen, Einschlüsse von Glas, Erz und Apatit, bis zu 1 mm Durchmesser (3,7 Vol.-%);
Plagioklas: randlich resorbiert mit Einbuchtungen von Grundmasse, zoniert und verzwillingt nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader Gesetz, Einschlüsse von Erz, Apatit und Glas, bis zu 2,4 mm x 3,4 mm groß, mit An_{35--64} Andesin bis Labradorit (34,9 Vol.-%);
Oxybiotit: hellbrauner bis rötlichdunkelbrauner Pleochroismus, randlich stark opacitisiert, z. T. zerbrochen und zerfasert, Einschlüsse von Plagioklas und Zirkon, $2V_x = 18°$, bis zu 1,4 mm x 0,8 mm groß, stark korrodiert (3,5 Vol.-%);
Oxyhornblende: meist total opacitisiert, nur am Umriß erkennbar, häufig mit orientiert eingewachsenem Biotit-Kern, bis zu 1 mm x 1,5 mm groß, Einschlüsse von Plagioklas und Erz (3,7 Vol.-%);
Klinopyroxen: schwach hellgrün, leicht zoniert, unverzwillingt, bis zu 80 µm lang, Diopsid bis Salit (0,2 Vol.-%);
Orthopyroxen: schwach hellgrün, bis zu 100 µm lang, wenig resorbiert, optisch negativ, Bronzit (0,2 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit und Ilmenit (zusammen 2,7 Vol.-%), Apatit (0,9 Vol.-%), Zirkon (0,1 Vol.-%) und garbenförmig verzwillingter Cristobalit (0,1 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Leukoxen in Ilmenit und Opacit pseudomorph nach Biotit und Hornblende.

Probe 84: Quarz-Andesit

Grundmasse: frisches, mittelbraunes Glas (10 Vol.-%) und viele Poren (23 Vol.-%);
Plagioklas-Leisten: zoniert und verzwillingt nach dem Karlsbader und Albit-Gesetz, mit An_{33--43} Andesin, 10 bis 50 µm lang (20 Vol.-%);
Pyroxen: schwach hellgrüne, ca. 30 µm lange Leisten (7 Vol.-%);
Erz: quadratische bis rundliche, ca. 5 µm große Querschnitte (2,8 Vol.-%).

Einsprenglinge: Quarz: fünf gerundete und zerbrochene Kristalle in je einem Hohlraum, der randlich von nadeligem Klinopyroxen ausgekleidet ist, bis zu 1 mm x 2,5 mm groß (0,7 Vol.-%);

Plagioklas: stark korrodiert und randlich resorbiert, invers zoniert (Mikrosonden-Analyse! Auswertung s. Abb. 63), verzwillingt nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader Gesetz, Einschlüsse von Pyroxen, Apatit und Erz, bildet selten Kern, der orientiert von Klinopyroxen umwachsen ist, auch vom Kern ausgehende, zonenweise Korrosion, bis zu 5 mm x 2,8 mm groß, mit An_{39--73} Andesin bis Labradorit bis Bytownit (28,6 Vol.-%);
Hornblende: total opacitisiert, nur am Umriß erkennbar, bis zu 560 µm lang (0,8 Vol.-%);
Klinopyroxen: schwach hellgrüner bis hellbrauner Pleochroismus, z. T. wenig opacitisiert, wenig korrodiert, verzwillingt nach (100) und (101), bis zu 0,9 mm x 0,5 mm groß, Einschlüsse von Plagioklas, Apatit und Erz, mit AS = 44° Augit, z. T. mit Sanduhrstruktur (1,3 Vol.-%);
Orthopyroxen: schwach hellbraun, wenig korrodiert und opacitisiert, mit $2\,V_x = 78°$ Bronzit (Analyse!), bis zu 1 mm lang (2,1 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit und Ilmenit (zusammen 1,8 Vol.-%), wurmförmiger Apatit (0,1 Vol.-%) und idiomorpher Cristobalit (1,9 Vol.-%) in Hohlräumen.

Sekundärprodukte: Opacit pseudomorph nach Hornblende, selten nach Pyroxen.

Probe 87: Dacit (Abb. 26)

Grundmasse: frische, farblose Glasfasern (39 Vol.-%) mit vielen Poren (34,4 Vol.-%).

Einsprenglinge: Quarz: gerundet und z. T. zerbrochen, randlich und im Kern zu Glasfäden resorbiert, Einbuchtungen von Glas sind häufig, bis zu 0,9 mm Durchmesser, Einschlüsse von Glas und Apatit (2,5 Vol.-%);
Plagioklas: meist randlich, selten zonenweise resorbiert, zoniert und verzwillingt nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader Gesetz, selten Einschlüsse von Erz, Apatit, Hornblende und Glas, bis zu 1,5 mm x 1,4 mm groß, mit An_{30--52} Andesin bis Labradorit (12,5 Vol.-%);
Biotit: rotbrauner bis dunkelbrauner Pleochroismus, $2\,V_x = 24°$, selten opacitisiert, Einschlüsse von Erz, Apatit und Plagioklas, z. T. Kern von gleich orientierter Hornblende, bis zu 1,4 mm x 1,6 mm groß, Meroxen bis Lepidomelan (2,9 Vol.-%);
Hornblende: olivgrüner bis dunkelgrüner Pleochroismus, selten opacitisiert, Einschlüsse von Biotit, Erz, Plagioklas und Apatit, z. T. verzwillingt nach (100), mit AS = 15° Femaghastingsit, bis zu 0,3 mm x 0,8 mm groß, teils in Kumulaten angereichert (7,3 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit, Ilmenit und Hämatit (zusammen 1,2 Vol.-%), Apatit (0,3 Vol.-%) und Zirkon (0,1 Vol.-%).

Probe 88: Quarz-Andesit

Grundmasse: frisches, farbloses Glas (21,7 Vol.-%);
Plagioklas-Leisten: zoniert und nach dem Albit-Gesetz verzwillingt, mit An_{35--40} Andesin, 10 bis 40 µm lang (36,2 Vol.-%);
Pyroxen: schwach hellgrüne, bis zu 50 µm lange Leisten (7,2 Vol.-%);
Erz: gerundete und oktaedrische Körnchen (7,2 Vol.-%).

Einsprenglinge: Quarz: gerundet und korrodiert, meist zerbrochen, 1,8 mm x 0,8 mm groß, Einschlüsse von Apatit und Pyroxen (1,1 Vol.-%);
Plagioklas: stark korrodiert, randlich und zonenweise resorbiert, Einbuchtungen von Matrix, selten Einschlüsse von Erz und Apatit, stark

zoniert und verzwillingt nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader Gesetz, bis zu 3 mm x 2,5 mm groß, oft total abgerundet, mit An_{38--64} Andesin bis Labradorit (11,1 Vol.-%);
Hornblende: total opacitisiert, nur noch am Umriß erkennbar, bis zu 1 mm x 0,6 mm große "Kristalle" (5,1 Vol.-%);
Klinopyroxen: schwach hellbraun, oft verzwillingt nach (100), deutlich ausgeprägter Zonarbau, selten opacitisiert und smektitisiert, bis zu 4 mm x 2,8 mm groß, mit AS = 39° Diopsid (2,3 Vol.-%);
Orthopyroxen: schwach gelbbraun, wenig opacitisiert, mit $2V_z = 87°$ Bronzit, bis zu 2 mm x 1,2 mm groß (2,2 Vol.-%);
Olivin: idiomorph, randlich und von Rissen ausgehende, orangegelbe Iddingsitisierung, mit $2V_x = 86°$ Chrysolith (Fa_{19}), bis zu 1,9 mm x 0,9 mm groß, Einschlüsse von Picotit (3,6 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit, Ilmenit und Picotit (1,3 Vol.-%), Apatit (0,3 Vol.-%) und Tridymit (0,1 Vol.-%) mit garbenförmigen Zwillingen.

Sekundärprodukte: Iddingsit, Smektit und Opacit.

Vulkangebiet östlich Pasto

Probe 100: Quarz-Latiandesit

Grundmasse: farbloses bis hellgrünes Glas (11,3 Vol.-%);
Sanidin: nach dem Karlsbader Gesetz verzwillingt, bis zu 200 µm x 800 µm groß (15 Vol.-%);
Plagioklas-Leisten: bis zu 300 µm x 800 µm groß, verzwillingt nach dem Albit-Gesetz, etwas zoniert, mit An_{33--40} Andesin (59,1 Vol.-%);
Pyroxen: schwach hellgrün, bis zu 500 µm lang (0,5 Vol.-%);
Erz: kleine, runde oder quadratische Querschnitte mit 3 bis 5 µm (1,2 Vol.-%).

Einsprenglinge: Quarz: gerundet und bis zu 100 µm Durchmesser (0,2 Vol.-%);
Plagioklas: schwach korrodiert, etwas zoniert und verzwillingt nach dem Albit- und Karlsbader Gesetz, bis zu 1,1 mm x 0,3 mm groß, meist aber kleiner und serialer Übergang zur Matrix, mit An_{40--46} Andesin (2 Vol.-%);
Hornblende: total opacitisiert, nur am Umriß erkennbar, bis zu 0,1 mm x 0,9 mm groß (0,5 Vol.-%);
Klinopyroxen: hellgrüner bis hellbrauner Pleochroismus, deutlich ausgeprägter Zonarbau und Sanduhrstruktur, z. T. randlich opacitisiert, selten Zwillinge nach (100), bis zu 1,1 mm x 0,7 mm groß, mit $2V_z = 48°$ und AS = 43° Augit (5,3 Vol.-%);
Orthopyroxen: schwach hellbrauner Pleochroismus, bis zu 0,4 mm x 0,6 mm groß, mit $2V_x = 60°$ und AS = 0° Hypersthen (0,5 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit, Ilmenit und Hämatit (zusammen 2,4 Vol.-%), Apatit (0,1 Vol.-%) und Cristobalit (1,5 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Goethit (0,4 Vol.-%) und Opacit pseudomorph nach Hornblende.

Vulkan Azufral de Túquerres

Probe 104: Dacit

Grundmasse: frisches, farbloses Glas (43,6 Vol.-%) und viele Poren (36,9 Vol.-%).

Einsprenglinge: Quarz: gerundet und stark zerbrochen, randlich resorbiert, z. T. leicht undulös auslöschend, bis zu 0,7 mm x 1,2 mm groß (1 Vol.-%);
Plagioklas: randlich häufig resorbiert, im Kern selten korrodiert, zoniert und verzwillingt nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader Gesetz, Einschlüsse von Biotit, Hornblende, Erz und Apatit, bis zu 1,2 mm x 1,8 mm groß, mit An_{31--45} Andesin (13,7 Vol.-%);
Biotit: mittelbrauner bis schwarzbrauner Pleochroismus, randlich resorbiert und selten schwach opacitisiert, mit $2\ V_x = 16°$ Lepidomelan, bis zu 1,4 mm x 0,5 mm groß, Einschlüsse von Erz und Apatit (1,9 Vol.-%);
Hornblende: tiefgrüner bis olivbrauner Pleochroismus, meist verzwillingt nach (100), Einschlüsse von Erz und Apatit, selten opacitisiert, randlich etwas resorbiert, bis zu 340 µm x 420 µm groß, mit $2\ V_x = 68°$ und AS = 17° Femaghastingsit (1,9 Vol.-%);
Orthopyroxen: schwach hellbraun, randlich resorbiert, 50 µm lang, optisch negativ, Bronzit bis Hypersthen (0,1 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit, Ilmenit und Hämatit (zusammen 0,5 Vol.-%) sowie Apatit (0,4 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Opacit.

Probe 106: Dacit

Grundmasse: hellbraunes Glas (25,8 Vol.-%) und wenige Poren (2,1 Vol.-%);
Plagioklas-Leisten: nach dem Albit-Gesetz verzwillingt, bis zu 11 µm x 100 µm groß, mit An_{32--35} Andesin (18,1 Vol.-%);
Erz: kleine quadratische, bis zu 5 µm große Körnchen (1,3 Vol.-%).

Einsprenglinge: Quarz: gerundet und z. T. zerbrochen, häufig randlich resorbiert, bis zu 1,7 mm Durchmesser, Einschlüsse von Glas sind selten (1,5 Vol.-%);
Plagioklas: zoniert und verzwillingt nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader Gesetz, z. T. zonenweise korrodiert und randlich resorbiert, Einschlüsse von Biotit, Erz und früher gebildetem Plagioklas, bis zu 2,1 mm x 1,9 mm groß, mit An_{35--52} Andesin bis Labradorit (Analyse!)(20,4 Vol.-%);
Oxybiotit: hellbrauner bis rotbrauner Pleochroismus, randlich stark opacitisiert, $2\ V_x = 18°$ (Analyse!), bis zu 0,7 mm x 0,9 mm groß, Einschlüsse von Apatit und Zirkon (1,2 Vol.-%);
Oxyhornblende: hellolivbrauner bis rötlichdunkelbrauner Pleochroismus, meist etwas korrodiert, selten zoniert, randlich opacitisiert, Einschlüsse von Plagioklas, Erz und Apatit, bis zu 1,3 mm x 0,5 mm groß, mit AS = 1--5° (Analyse!)(7,5 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit und Ilmenit (3,4 Vol.-%), Apatit (0,2 Vol.-%), idiomorpher Zirkon (0,1 Vol.-%) sowie Cristobalit (17,2 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Leukoxen, Opacit und Goethit (zusammen 1 Vol.-%).

Probe 107: Quarz-Latiandesit

Grundmasse: farbloses bis hellbraunes Glas (11 Vol.-%);
Plagioklas-Leisten: bis zu 10 µm lang, verzwillingt nach dem Albit-Gesetz, mit An_{30--35} Andesin (33 Vol.-%);
Pyroxen: feine, hellgrüne, bis zu 10 µm lange Leisten (5,5 Vol.-%);
Erz: kleine, meist 3 µm große Oktaeder und Körnchen (5,5 Vol.-%).

Einsprenglinge: Plagioklas: meist zonenweise korrodiert, randlich resorbiert, oft mit Einbuchtungen von Matrix, zoniert und verzwillingt nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader Gesetz, Einschlüsse von Pyroxen, Erz und Apatit, häufig beginnende Smektitisierung, mit An_{46--57} (Analyse!) Andesin bis Labradorit, bis zu 5 mm lang (28,3 Vol.-%);
Klinopyroxen: schwach hellbraun, meist verzwillingt nach (100), (101) und (122), meist korrodiert und schwach opacitisiert, manchmal Saum um Orthopyroxen, bis zu 1,3 mm x 0,8 mm groß, mit $2\ V_z = 56°$ und AS = 46° Salit (Analyse!)(2,1 Vol.-%);
Orthopyroxen: hellbraun, etwas opacitisiert, selten verzwillingt nach (100), z. T. schwach zoniert, Einschlüsse von Erz und Apatit, meist randlich und von Rissen ausgehende Bastitisierung, bis zu 1,6 mm x 0,7 mm groß, mit $2\ V_x = 68°$ Bronzit (Analyse!)(10,7 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit, Ilmenit und Hämatit (zusammen 2,2 Vol.-%), Apatit (0,3 Vol.-%) und Zirkon (0,1 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Leukoxen, Opacit, Goethit, Smektit und Bastit (zusammen 1,3 Vol.-%).

Vulkan Nevado de Cumbal

Probe 115: Quarz-Latiandesit

Grundmasse: frisches, dunkelbraunes Glas (28,8 Vol.-%);
Plagioklas-Leisten: nach dem Albit-Gesetz verzwillingt, meist 12 µm lang, mit An_{28--34} Oligoklas bis Andesin (17,3 Vol.-%);
Erz: runde bis oktaedrische, ca. 3 µm große Körnchen (11,5 Vol.-%).

Einsprenglinge: Plagioklas: zonenweise bis total korrodiert, randlich meist resorbiert, Einbuchtungen von Grundmasse in Schwächezonen (überwiegend längs der Zwillingsachsen), z. T. beginnende Smektitisierung, zoniert und verzwillingt nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader Gesetz, mit An_{48--53} Andesin bis Labradorit (Analyse!), bis zu 3,2 mm lang, Einschlüsse von Erz, Apatit, Pyroxen und submikroskopischem "Kaolinit" (27,4 Vol.-%);
Klinopyroxen: hellgrüner bis hellbrauner Pleochroismus, teilweise zoniert und verzwillingt nach (100) und (010), z. T. opacitisiert und korrodiert, Einschlüsse von Erz und Apatit, randlich resorbiert, selten als Saum um Orthopyroxen, bis zu 570 µm x 430 µm groß, mit $2\ V_z = 52°$ und AS = 42° Augit (Analyse!)(1,8 Vol.-%);
Orthopyroxen: farblos bis hellbraun, randlich resorbiert, wenig korrodiert, Einschlüsse von Erz, Apatit und Plagioklas, Zwillinge nach (011), bis zu 0,6 mm x 2 mm groß, mit $2\ V_x = 70°$ und AS= 0° Bronzit (Analyse!) (8,4 Vol.-%);
Olivin: farblos bis schwach hellgrün, unregelmäßige Sprünge, Einschlüsse von Picotit, immer in Kumulaten angereichert, mit $2\ V_x = 88--86°$ Chrysolith (Fa_{14--17})(Analyse!), bis zu 1,1 mm x 0,7 mm groß und gerundet (2,5 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit und Ilmenit (0,7 Vol.-%), Apatit (0,2 Vol.-%) und Cristobalit (1 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Smektit, Leukoxen und Opacit (zusammen 0,4 Vol.-%).

Probe 119: Quarz-Latiandesit

Grundmasse: frisches, hellbraunes Glas (29,2 Vol.-%) und wenige Poren (6,5 Vol.-%);
Plagioklas-Leisten: nach dem Albit-Gesetz verzwillingt, meist 5 µm lang (8 Vol.-%);
Pyroxen: hellgrüne, ca. 5 µm lange Leisten (0,8 Vol.-%);
Erz: runde Körnchen und Oktaeder mit ca. 0,5 bis 2 µm Durchmesser (2 Vol.-%).

Einsprenglinge: Plagioklas: randlich meist resorbiert, Einbuchtungen von Grundmasse, häufig zonenweise Resorption, zoniert und verzwillingt nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader Gesetz, Einschlüsse von Erz, Apatit, Pyroxen und Glas, mit An_{33--54} Andesin bis Labradorit (Analyse!), bis zu 2,2 mm x 1,7 mm groß (36,2 Vol.-%);
Oxyhornblende: rotbrauner bis hellbrauner Pleochroismus, stark opacitisiert, Einschlüsse von Erz, Apatit und Plagioklas, bis zu 2 mm x 1,1 mm groß, mit 2 V_x = 60° und AS = 1--3° (Analyse!) oxidierter Femag-hastingsit (0,7 Vol.-%);
Klinopyroxen: hellgrüner bis hellbrauner Pleochroismus, randlich und von Rissen ausgehend opacitisiert und oxidiert, meist ungleichmäßig auslöschend, oft verzwillingt nach (100) und (101), Einschlüsse von Erz, Apatit und Plagioklas, bis zu 1,1 mm x 0,8 mm groß, mit 2 V_z = 48° und AS = 44° Augit (2,7 Vol.-%);
Orthopyroxen: hellgrüner bis hellbrauner Pleochroismus, oft vom Rande und von Rissen ausgehend etwas oxidiert, mit 2 V_x = 62--65° und AS 0° Hypersthen, bis zu 1,1 mm x 0,5 mm groß, Einschlüsse von Erz und Apatit (5,5 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit und Ilmenit (3,4 Vol.-%), Apatit (0,5 Vol.-%), Zirkon (0,1 Vol.-%) und garbenförmiger Cristobalit (1,2 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Opacit und Hämatit (3,3 Vol.-%).

Vulkan Chiles

Probe 122: Dacit

Grundmasse: frisches, farbloses Glas (28,3 Vol.-%) und wenige Poren (2,4 Vol.-%);
Sanidin-Leisten: nach dem Karlsbader Gesetz verzwillingt, 8 bis 45 µm lang (7,1 Vol.-%);
Plagioklas-Leisten: 3 bis 50 µm lang, nach dem Albit-Gesetz verzwillingt und z. T. wenig zoniert, mit An_{33--37} Andesin (24,7 Vol.-%);
Pyroxen: schwach hellgrüne, bis zu 40 µm lange Leisten (3,5 Vol.-%);
Erz: gerundete Körner und idiomorphe Oktaeder mit 3 bis 5 µm Durchmesser (3,5 Vol.-%).

Einsprenglinge: Quarz: gerundet und zerbrochen, randlich resorbiert, Einschlüsse von Erz, Apatit und Matrix, bis zu 1,4 mm Durchmesser (0,2 Vol.-%);
Plagioklas: randlich resorbiert und stark gerundet, etwas korrodiert und z. T. Einbuchtungen von Matrix, Einschlüsse von Erz und Apatit, zoniert und verzwillingt nach dem Albit-, Periklin- und Karlsbader Gesetz, mit An_{37--52} Andesin bis Labradorit, bis zu 2 mm x 0,6 mm groß (14,6 Vol.-%);

Oxybiotit: mittelbrauner bis schwarzbrauner Pleochroismus, randlich resorbiert, z. T. von außen beginnende Opacitisierung, Einschlüsse von Erz, Apatit und Zirkon, bis zu 0,4 mm x 0,3 mm groß (0,3 Vol.-%);
Oxyhornblende: hellbrauner bis rotbrauner Pleochroismus, von außen her stark opacitisiert, selten mit Kern von Orthopyroxen, dessen Orientierung übernommen wurde, Einschlüsse von Erz, Plagioklas und Apatit, bis zu 1,7 mm x 1 mm groß, mit 2 V_x = 60° und AS = 3--8°, z. T. verzwillingt nach (100), selten etwas zoniert (3,7 Vol.-%);
Klinopyroxen: schwach hellbraun, randlich resorbiert und opacitisiert, meist verzwillingt nach (100), selten als Umwachsung von Orthopyroxen, Einschlüsse von Erz und Apatit, bis zu 1,7 mm x 1,3 mm groß, mit 2 V_z = 53° und AS = 42° Augit (2,1 Vol.-%);
Orthopyroxen: schwach hellbraun, z. T. opacitisiert und korrodiert, wenige Einschlüsse von Erz und Apatit, mit 2 V_x = 66° und AS = 0° Bronzit bis Hypersthen, bis zu 200 µm x 700 µm groß (2,1 Vol.-%);
Olivin: großteils idiomorphe, selten resorbierte oder zerbrochene Kristalle, häufig Einschlüsse von Picotit-Oktaedern, farblos, selten verzwillingt nach (011), bis zu 1,3 mm x 0,8 mm groß, mit 2 V_x = 86° Chrysolith (Fa_{20})(2,4 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit, Ilmenit und Picotit (zusammen 0,7 Vol.-%), Apatit (0,3 Vol.-%), Zirkon (0,2 Vol.-%) und pseudokubischer Cristobalit (0,5 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Opacit und Leukoxen.

Probe 128: Quarz-Latiandesit

Grundmasse: frisches, mittelbraunes Glas (36 Vol.-%) mit wenigen Poren (5 Vol.-%);
Sanidin: feine, bis zu 20 µm lange, nach dem Karlsbader Gesetz verzwillingte Leisten (3,7 Vol.-%);
Plagioklas: bis zu 90 µm lange, nach dem Albit-Gesetz verzwillingte Leisten, mit An_{36--38} Andesin (22,1 Vol.-%);
Pyroxen: schwach hellgrüne, bis zu 100 µm lange Leisten (3,7 Vol.-%);
Olivin: farblose, runde Körner, bis zu 40 µm Durchmesser (7,4 Vol.-%);
Erz: kleine, runde oder oktaedrische, ca. 1 bis 5 µm große Körner (0,7 Vol.-%).

Einsprenglinge: Plagioklas: randlich resorbiert mit Einbuchtungen von Grundmasse, zonenweise korrodiert, selten wenig smektitisiert, Einschlüsse von Glas, Apatit, Erz und Pyroxen, zoniert und verzwillingt nach dem Albit- und Karlsbader Gesetz, selten nach dem Periklin-Gesetz, mit An_{37--53} Andesin bis Labradorit, bis zu 2,9 mm x 2,1 mm groß (Analyse!) (11,5 Vol.-%);
Klinopyroxen: schwach hellbraun, selten opacitisiert, Einschlüsse von Apatit und Erz, selten verzwillingt nach (100) und ($\bar{1}22$), mit 2 V_z = 54° und AS = 42° Augit (Analyse!), bis zu 430 µm x 200 µm groß (0,5 Vol.-%);
Orthopyroxen: schwach hellgrüner bis hellbrauner Pleochroismus, etwas opacitisiert, mit feinsten Entmischungslamellen von Klinopyroxen parallel (100) im Kernbereich (auch von KUNO, 1938:218--220 in Japan gefunden), mit 2 V_x = 65° und AS = 0° Hypersthen (Analyse!), bis zu 0,7 mm x 2,2 mm groß, Einschlüsse von Erz, Apatit, Klinopyroxen und Plagioklas (1,8 Vol.-%);
Olivin: meist idiomorph, randlich wenig resorbiert, wenig zerbrochen, Einschlüsse von Magnetit und Picotit, farblos, mit 2 V_x = 88° Chrysolith (Fa_{14})(Analyse!), bis zu 1,9 mm x 0,6 mm groß (5,1 Vol.-%).

Akzessorien: Magnetit, Ilmenit, Picotit und Hämatit (1,6 Vol.-%) sowie Apatit (0,2 Vol.-%).

Sekundärprodukte: Opacit und Smektit (zusammen 0,8 Vol.-%).

4.2.3 Zusammenfassende Beschreibung der Charakteristika der gesteinsbildenden Minerale

4.2.3.1 Helle Minerale

Quarz: kantengerundete, häufig zerbrochene, oft randlich resorbierte Einkristalle, enthält selten Einschlüsse von Pyroxen, Erz und Apatit. Häufig sind auch Einbuchtungen und Einschnürungen von glasiger bzw. mikrokristalliner Grundmasse.

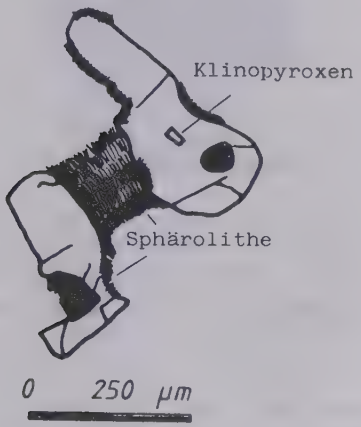


Abb. 27: resorbierter und zerbrochener Quarz-Dihexaeder mit Klinopyroxen-Einschluß und Sphärolith-Bildung (Probe 43).

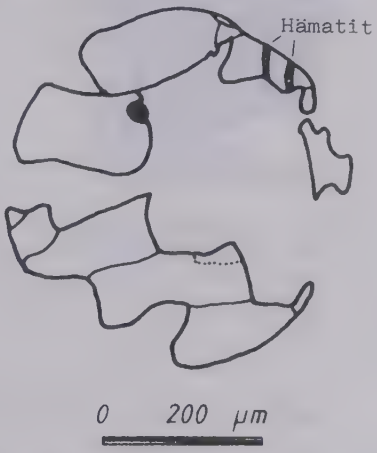


Abb. 28: zerbrochener und vollständig gerundeter Quarz-Ein-Kristall mit Hämatit-Einschluß (Probe 76).

"Anorthoklas": z. T. deutlich zonierte, nach dem Albit- und Periklin-Gesetz sowie dem Karlsbader Gesetz und auch häufig nach dem Mikroklin-Gesetz verzwillingte Kristalle, randlich meist resorbiert, im Kern und zonenweise korrodiert, häufig Einschlüsse von unregelmäßigen Erz-Körnern, Pyroxen-Leisten und wurmförmigem Apatit, oft treten Einbuchtungen und Einschnürungen von Grundmasse auf. Die chemische Zusammensetzung sowie das optische Verhalten sind sehr inhomogen. Mit Or_{3--12} Ab_{74--77} An_{12--23} liegt der "Anorthoklas", der wohl überwiegend aus (K, Ca)-Analbit besteht, im (K, Ca)-Analbit- bis Oligoklas-Feld des ternären Systems $KAlSi_3O_8$ - $NaAlSi_3O_8$ - $CaAl_2Si_2O_8$ (Abb. 61).

Abb. 29: "Anorthoklas", nach dem Albit-Gesetz verzwillingt und schwach resorbiert, idiomorpher Einkristall (Probe 63).

Abb. 30: "Anorthoklas", nach dem Albit- und dem Mikroklin-Gesetz verzwillingt, zoniert und z. T. entmischt, randlich resorbiert und wenig zerbrochen (Probe 43).

Sanidin: sehr seltene kleine, idiomorphe, immer leistenförmige Kristalle, nach dem Karlsbader Gesetz verzwillingt, randlich etwas resorbiert, mit Einschlüssen von Erz und wurmförmigem Apatit.

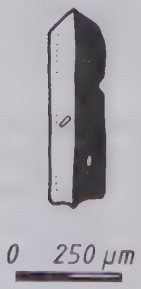


Abb. 31: nach dem Karlsbader Gesetz verzwillingter Sanidin, randlich wenig resorbiert (Probe 45).

Plagioklas: meist randlich resorbiert und zonenweise korrodiert, oft Einbuchtungen von Grundmasse, z. T. poikilitisch von Pyroxen, Hornblende, Biotit, Erz und wurmförmigem Apatit durchwachsen oder mit Einschlüssen von denselben, deutlich ausgeprägte Zonierung, teils invers, meist aber normal zoniert, häufig Zwillingsbildungen nach dem Albit-, Karlsbader und Periklin-Gesetz, selten tre-

ten auch sekundär gebildete Zwillingslamellen (Bildung von Gleitzwillingen durch Stresseinwirkung der auskristallisierenden Grundmasse während der Fließbewegung) auf (EMMONS & GATES, 1943:293), selten smektitisiert, chemisch sehr unterschiedliche Zusammensetzung, z. T. recht hohe FeO-Gehalte (s. Analysen).

Abb. 32: invers zonierter und nach dem Karlsbader Gesetz verzwillingter Plagioklas, randlich schwach resorbiert und zonenweise korrodiert (Probe 84).

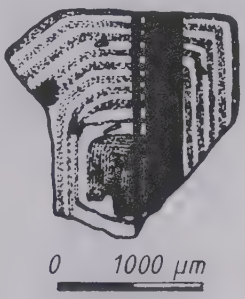


Abb. 33: normal zonierter und nach dem Albit-Gesetz verzwillingter, randlich resorbierter und im Kern schwach korrodierter Plagioklas mit Einschlüssen (Probe 87).

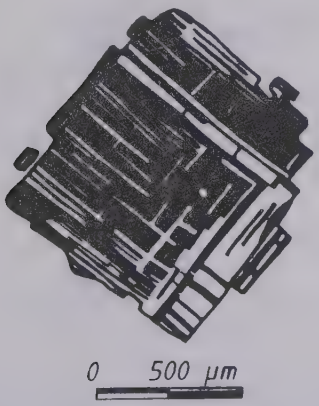


Abb. 34: nach dem Albit- und Periklin-Gesetz verzwillingter, randlich schwach resorbierter Plagioklas (Probe 2).

Abb. 35: randlich stark korrodierter Plagioklas mit Gleitzwillingen in Fließrichtung. Die Zwillingslamellen dünnen zum Kern hin aus; häufig Einschlüsse von Pyroxen (Probe 32).

4.2.3.2 Dunkle Minerale

Biotit: hellbrauner bis rotbrauner (Oxybiotit) oder mittelbrauner bis schwarzbrauner Pleochroismus (Meroxen bis Lepidomelan), meist randlich resorbiert und opacitisiert, oft Einschlüsse von Erz und Zirkon (pleochroitischer Hof), häufig idiomorph mit pseudohexagonalem Umriß, selten Übergang in gleich orientierte Hornblende.

Abb. 36: randlich resorbierter, pseudohexagonaler Oxybiotit mit Erz- und Zirkon-Einschlüssen und pleochroitischem Hof (Probe 47).

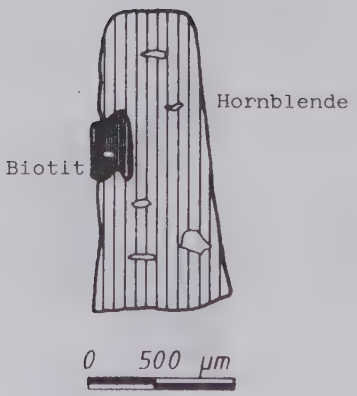


Abb. 37: parallel der Z-Achse orientierter Biotit, eingewachsen in gleich orientierte, stark korrodierte Hornblende (Probe 76).

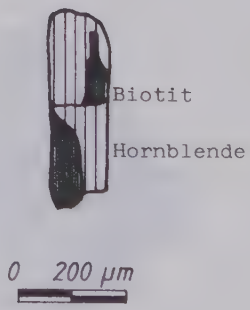


Abb. 38: brauner Biotit mit orientiert verwachsenem, grünem Femaghastingsit (Probe 76).

Hornblende: hellgrüner bis olivgrüner oder mittel- bis dunkelbrauner Pleochroismus, meist als Oxyhornblende, seltener als Femaghastingsit und vereinzelt als kaersutitische Hornblende (TiO_2-Gehalt etwas zu klein für Kaersutit) auftretend, häufig stark oxidiert und opacitisiert, vereinzelt total opacitisiert (Hornblende-Leichen) und nur noch am äußeren Erscheinungsbild erkennbar, Einschlüsse von Erz, Plagioklas, Biotit und Apatit, oft randlich resorbiert, im Kern häufig stark korrodiert. Die "kaersutitischen Hornblenden" sind sehr stark zoniert. Häufig tritt eine lamellare Verzwillingung nach (100) mit Zwischenlamellen auf.

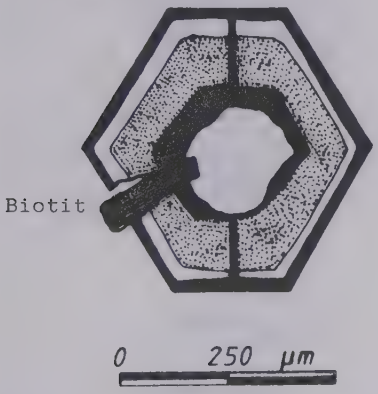


Abb. 39: stark zonierte, im Kern korrodierte "kaersutitische Hornblende" mit Biotit-Einschluß und feiner Zwischenlamelle (Probe 57).

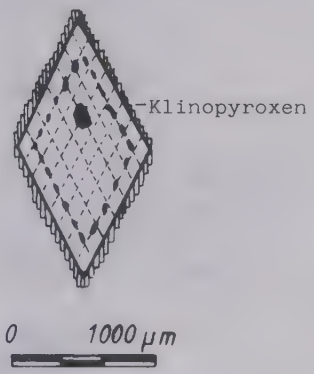


Abb. 40: nach (100) verzwillingte Oxyhornblende mit Erz-Einschlüssen und Klinopyroxen-Reaktionssaum. Die Fließrichtung der Lava verläuft parallel zur Zwillingsachse (Probe 122).

Klinopyroxen: farbloser bis schwach hellgrüner oder hellgrüner bis hellbrauner Pleochroismus, meist randlich resorbiert, z. T. wenig opacitisiert und korrodiert, selten smektitisiert oder bastitisiert, häufig Einschlüsse von Erz, Apatit und selten Plagioklas, manchmal als Saum um Orthopyroxen; unterschiedlicher Chemismus: von Diopsid, Endiopsid, Salit bis Augit (Ca-Gehalt stark schwankend bis an die Grenze zum subcalcischen Augit). Oft ungleichmäßige Auslöschung mit Übergang zur Sanduhr-

struktur (im Tephriphonolith etc. des Isnos-Acevedo-Vulkangebietes als Titanaugit vorliegend), manchmal auch deutlich zoniert, häufig verzwillingt nach (100), (101), (010) und selten nach ($\bar{1}$22).

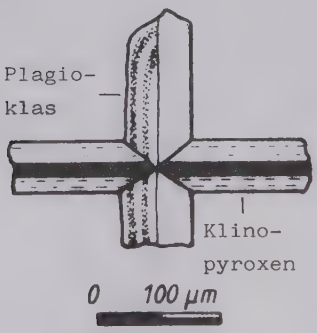


Abb. 41: kreuzförmige Verwachsung von nach (100) verzwillingtem Klinopyroxen mit Zwischenlamelle und nach dem Karlsbader Gesetz verzwillingtem und zoniertem Plagioklas (Probe 84).

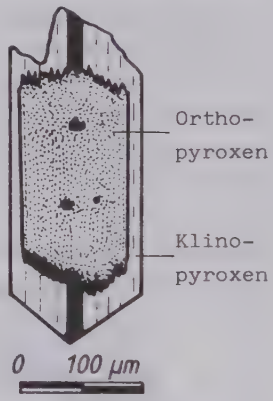


Abb. 42: nach (100) verzwillingter Klinopyroxen mit Orthopyroxen-Kern (Probe 31).

Abb. 43: zonierte und verzwillingte Klinopyroxen-Kristalle, randlich wenig resorbiert, mit Erz-Einschlüssen. Zwillingsgesetze nach (100) und ($\bar{1}$22)(Probe 12).

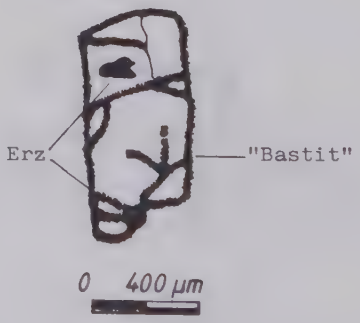


Abb. 44: vom Rand und von Rissen ausgehende Bastitisierung eines Klinopyroxens (Probe 12).

Orthopyroxen: farbloser bis hellbrauner Pleochroismus, randlich wenig resorbiert, selten etwas opacitisiert, bastitisiert oder smektitisiert, selten von Klinopyroxen umwachsen, Chemismus nicht einheitlich - von Hypersthen bis Bronzit reichend -, selten verzwillingt nach (100), selten im Kernbereich beginnende Entmischung durch Klinopyroxen.

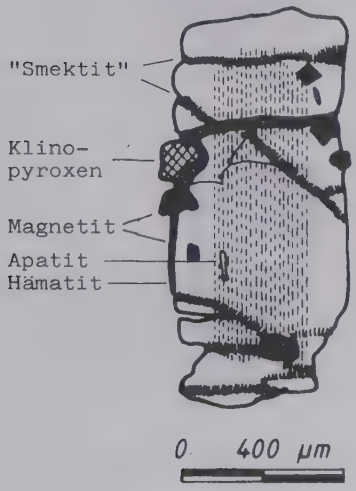


Abb. 45: von Rissen ausgehende Smektitisierung, Einschlüsse von Magnetit, Apatit und Hämatit, im Kernbereich beginnende Entmischung durch Klinopyroxen (Probe 2).

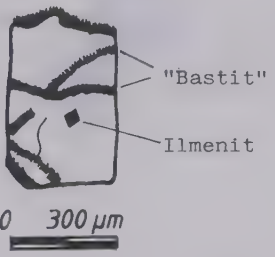


Abb. 46: von Rissen ausgehende Bastitisierung in Orthopyroxen und Einschluß von Ilmenit (Probe 12).

Olivin: farblose, idiomorphe oder gerundete und zerbrochene Kristalle bzw. Kristall-Aggregate (Anreicherung in Kumulaten), viele Einschlüsse von 2 bis 5 µm großen Picotit-Oktaedern, wenig variierende chemische Zusammensetzung im Bereich des Chrysoliths. Aufgrund des niedrigen Fayalit-Gehaltes handelt es sich um sehr primitive Kristallisate (Frühausscheidung!), die manchmal iddingsitisiert und randlich oft resorbiert sind.

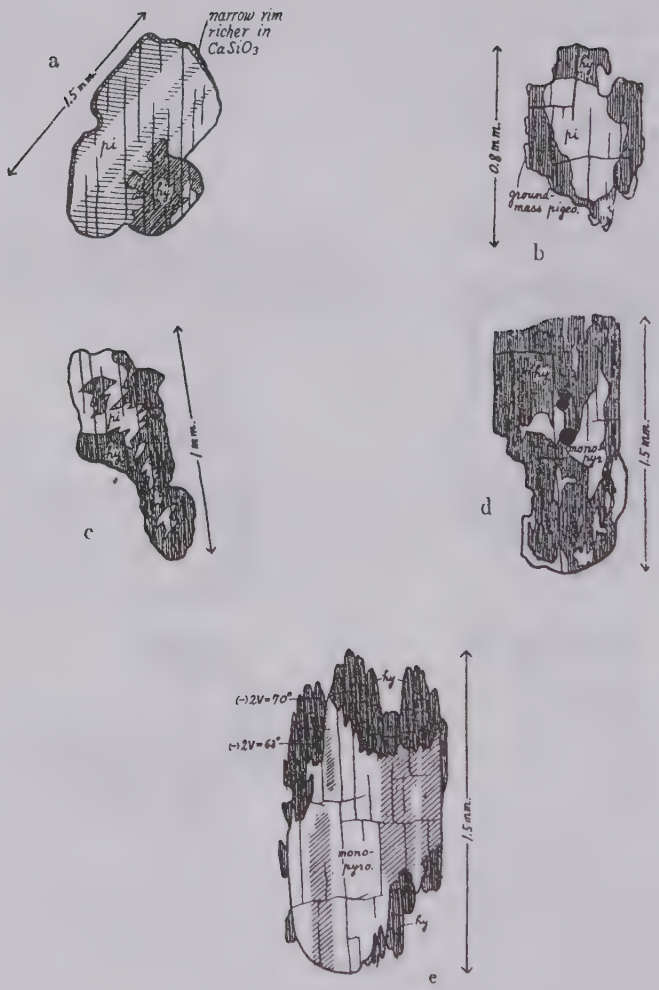


Abb. 45 a--e: Parallele Verwachsung von porphyrischem Hypersthen (hy) und monoklinem Pyroxen (Pigeonit (pi) oder Augit) im Pyroxen-Andesit des Hakone Vulkans in Japan (aus KUNO, 1936:85).

Abb. 47: idiomorphe, wenig resorbierte, nach (011) verzwillingte Olivine mit Picotit-Einschlüssen und deutlicher Spaltbarkeit nach (010) und (100)(Probe 122).

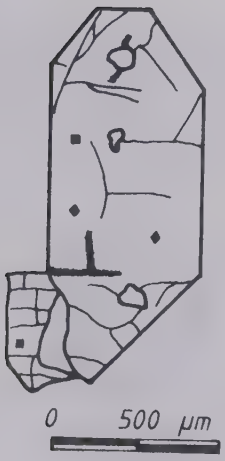


Abb. 48: idiomorpher, schwach iddingsitisierter Olivin-Einkristall mit Einschlüssen von Picotit-Oktaedern (Probe 88).

4.2.3.3 Akzessorische Minerale

Cordierit: sehr selten (nur im Obsidian des Sotará) auftretende, idiomorphe Reliktkristalle mit randlichen Resorptionserscheinungen. Ein deutlicher Unterschied zu dem mit ihm gemeinsam auftretenden Quarz ist der große Achsenwinkel und der negative optische Charakter des Cordierits.

Abb. 49: randlich resorbierter, idiomorpher, farbloser Cordierit-Einkristall mit unregelmäßigen Rissen in einem Schnitt annähernd senkrecht zur c-Achse (Probe 64).

Cristobalit: farblose, meist in Hohlräumen gewachsene, pseudokubische Kristalle, durch Paramorphose von der Hoch- zur Tieftemperaturphase entstandene "Ballenstruktur" (=Quersprünge in etwa regelmäßigen Abständen), optisch einachsig negativ mit niedriger Licht- und Doppelbrechung.

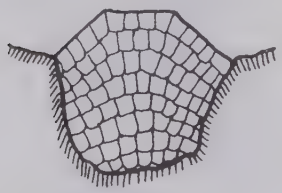


Abb. 50: paramorpher Tief-Cristobalit mit Ballenstruktur in Hohlraum hineingewachsen (Probe 57).

Grundmasse

0 50 µm

Tridymit: farblose, meist in Hohlräumen auftretende, gefächerte Tieftemperaturphase mit Durchkreuzungsdrillingen, optisch zweiachsig positiv mit niedriger Licht- und Doppelbrechung.

0 100 µm

Abb. 51: Tridymit-Aggregat mit Durchkreuzungsdrillingen als Hohlraumfüllung (Probe 86).

Apatit: meist als idiomorphe, farblose Kristalle in der Grundmasse zu finden, häufig als wurmförmiger Einschluß in Plagioklas oder Anorthoklas auftretend, selten durch orientierte Einlagerung von feinsten Partikeln (Hämatit) bräunlich gefärbt.

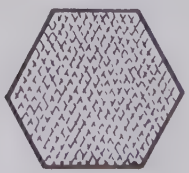


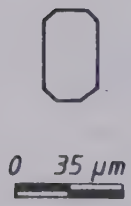
Abb. 52: bräunlich gefärbter, idiomorpher Apatit mit orientierter Einlagerung von feinsten Fremdpartikeln (Probe 4).

0 50 µm

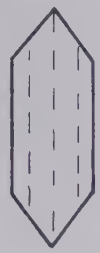
Abb. 53: wurmförmige Apatit-Leisten in polysynthetisch verzwillingtem, randlich resorbiertem Plagioklas (Probe 4).

0 100 µm

Zirkon: idiomorphe oder gerundete Kristalle mit hoher Licht- und Doppelbrechung. Meist als Einschluß in Biotit oder Hornblende, selten in Klinopyroxen, verursacht hier meist einen pleochroitischen Hof.



0 35 µm



0 40 µm

Abb. 54: idiomorphe Zirkon-Einkristalle, (rechts) mit undeutlicher Spaltbarkeit nach (110) in mikrokristalliner Grundmasse (Probe 76).

0 50 µm

Abb. 55: Biotit mit Zirkon-Einschluß, der pleochroitischen Hof (punktiert) hervorruft (Probe 78).

Erz: Magnetit als unregelmäßige Körner bis idiomorphe Oktaeder, Ilmenit als Leisten oder unregelmäßige Körner, Hämatit als rötlichbraune, z. T. kugelige Aggregate oder als Körner und Picotit als dunkelbraune Oktaeder in Olivin.

Abb. 56: Ilmenit mit Einschlüssen von Klinopyroxen und Leukoxen (Probe 4).

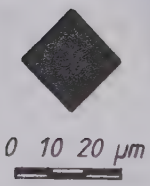


Abb. 57: Ilmenit-Leiste von oben gesehen.

Abb. 58: radialstrahliger Hämatit als Hohlraumfüllung (Probe 118).

Abb. 59: idiomorpher Picotit-Oktaeder als Einschluß in Olivin (Probe 118).

4.2.4 Der Mineralbestand aller untersuchten Vulkanit-Proben

Im Folgenden sind die für Tabelle 2 benutzten Abkürzungen aufgelistet. Sofern es sich bei den Sekundärprodukten um Mineralgemenge handelt oder die Zusammensetzung nicht genau geklärt ist, wird dies durch Anführungszeichen gekennzeichnet.

Die unter der Rubrik "Gestein" geführten Vulkanit-Namen entsprechen der neuesten Nomenklatur der Effusiva nach STRECKEISEN (1980:194 ff).

Mineralbestand und Sekundärprodukte	Gesteinsname nach STRECKEISEN
Aor = Anorthoklas	AOB = Alkaliolivinbasalt
Ap = Apatit	AR = Alkalifeldspat-Rhyolith
Ba = "Bastit"	DA = Dacit
Bi = Biotit	LQA = Leuko-Quarz-Andesit
C = Cordierit	LQL = Leuko-Quarz-Latiandesit
Cc = Calcit	NB = Nephelin-Basanit
Cpx = Klinopyroxen	MON = Mafitischer Olivin-Nephelinit
Cr = Cristobalit	MONT = Mela Olivin-Nephelin-Tephriphonolith
Goe = Goethit	MTO = Mela-Tholeiit-Olivinbasalt
Hbl = Hornblende	QA = Quarz-Andesit
Hm = Hämatit	QL = Quarz-Latiandesit
Id = Iddingsit	QLA = Quarz-normativer Latiandesit
Il = Ilmenit	QTH = Quarz-normativer Tholeiit-Hawaiit
Leu = "Leukoxen"	PD = Plagidacit
M = Magnetit	RH = Rhyodacit
Ol = Olivin	
Op = "Opacit"	
Opx = Orthopyroxen	
Pi = Picotit	
Plag = Plagioklas	
Q = Quarz	
S = Sanidin	
Sp = "Sphärolith"	
Ton = Tonminerale	
Tr = Tridymit	
Zr = Zirkon	

Anmerkung: + bedeutet: tritt auf
- bedeutet: fehlt in dieser Probe

Tab. 2: Mineralbestand der jungen Vulkanite Süd-Kolumbiens

Probe	Gestein	Q	Aor	S	Plag	Bi	Hbl	Cpx	Opx	Ol	C	M	Il	Hm	Ap	Zr	Pi	Cr	Tr	Op	Ton	Id	Goe	Leu	Cc	Sp	Ba
1	QL	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
2	QL	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-
3	QL	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	+
4	QL	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-
5	QL	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-
6	QL	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-
7	QL	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
8	QL	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	-	+
9	QL	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+
10	LQL	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+
11	QL	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
12	QL	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+
13	QL	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
14	QL	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-
15	QL	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-
16	LQL	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-
17	QL	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
18	QL	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-
19	QL	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-
20	QL	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+	+	-	+	-	-	-
21	QL	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
22	QL	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-
23	QL	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-
24	QL	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-
25	LQL	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
26	QL	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+

Tab. 2: Fortsetzung

Probe	Gestein	Q	Aor	S	Plag	Bi	Hbl	Cpx	Opx	Ol	C	M	Il	Hm	Ap	Zr	Pi	Cr	Tr	Op	Ton	Id	Goe	Leu	Cc	Sp	Be
27	LQL	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+
28	QL	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-
29	AOB	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	QL	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
31	QA	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	+	-	-	-
32	QL	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-
33	QTH	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+
34	QA	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-
35	NB	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
36	NB	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-
37	MTO	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
38	QLA	-	-	-	+	-	-	+	-	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-
39	MONT	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
40	MON	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
41	MON	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
42	QL	+	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
43	AR	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-
44	AR	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-
45	LQL	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-
46	QL	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-
47	AR	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-
48	AR	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-
49	AR	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-
50	QL	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
51	LQL	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
52	LQL	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 2: Fortsetzung

Probe	Gestein	Q	Aor	S	Plag	Bi	Hbl	Cpx	Opx	Ol	C	M	Il	Hm	Ap	Zr	Pi	Cr	Tr	Op	Ton	Id	Goe	Leu	Cc	Sp	Ba
53	LQL	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-
54	QL	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-
55	QL	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-
56	QL	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
57	QL	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-
58	QL	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-
59	QL	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-
60	DA	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
61	QL	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
62	AR	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	+	-
63	AR	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-
64	AR	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65	LQL	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
66	LQL	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
67	AR	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
68	AR	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
69	LQL	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
70	DA	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-
71	DA	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-
72	LQL	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-
73	DA	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
74	QL	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
75	QL	+	-	-	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-
76	QL	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-
77	QL	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-
78	DA	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-

Tab. 2: Fortsetzung

Probe	Gestein	Q	Aor	S	Plag	Bi	Hbl	Cpx	Opx	Ol	C	M	Il	Hm	Ap	Zr	Pi	Cr	Tr	Op	Ton	Id	Goe	Leu	Cc	Sp	Ba
79	QL	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
80	LQL	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
81	DA	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
82	DA	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
83	DA	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
84	QA	+	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
85	DA	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-
86	LQL	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-
87	DA	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
88	QA	+	-	-	+	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-
89	DA	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-
90	DA	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
91	DA	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-
92	PD	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
93	DA	+	-	-	+	-	+	-	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-
94	DA	+	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-
95	DA	+	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
96	DA	+	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
97	DA	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
98	DA	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-
99	QL	+	-	-	+	+	+	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-
100	QL	+	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-
101	DA	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
102	RD	+	-	-	+	+	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-
103	DA	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
104	DA	+	-	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
105	DA	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-

Tab. 2: Fortsetzung

Probe	Gestein	Q	Aor	S	Plag	Bi	Hbl	Cpx	Opx	Ol	C	M	Il	Hm	Ap	Zr	Pi	Cr	Tr	Op	Ton	Id	Goe	Leu	Cc	Sp	Ba
106	DA	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	+	+	-	-	-
107	QL	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	+
108	DA	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
109	DA	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
110	DA	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
111	IQA	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+
112	LQA	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-
113	QA	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-
114	QL	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-
115	QL	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-
116	QL	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
117	QA	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-
118	QL	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
119	QL	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
120	QA	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-
121	QL	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-
122	DA	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-
123	DA	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-
124	QA	-	-	-	+	-	-	+	-	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-	+	-	+
125	DA	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-	-	+	+	-	-	-
126	DA	-	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
127	DA	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-
128	QL	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-
129	QL	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-
130	QL	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-
131	QL	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-
132	QL	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-

4.2.5 Ergebnisse der Modal-Analysen

Von den wichtigsten Gesteinstypen jedes Vulkans bzw. Vulkan-Gebietes wurden mittels des "Point-counter"-Verfahrens Modalanalysen an Dünnschliffen durchgeführt. Die Volumen-Prozent-Angaben wurden aus 2000 gezählten Punkten ermittelt. Der relative Fehler bei 2000 gezählten Punkten liegt nach PLAS & TOBI (1965:88) zwischen 1 und 24 %, der absolute Fehler zwischen 1 und 2,5 %.

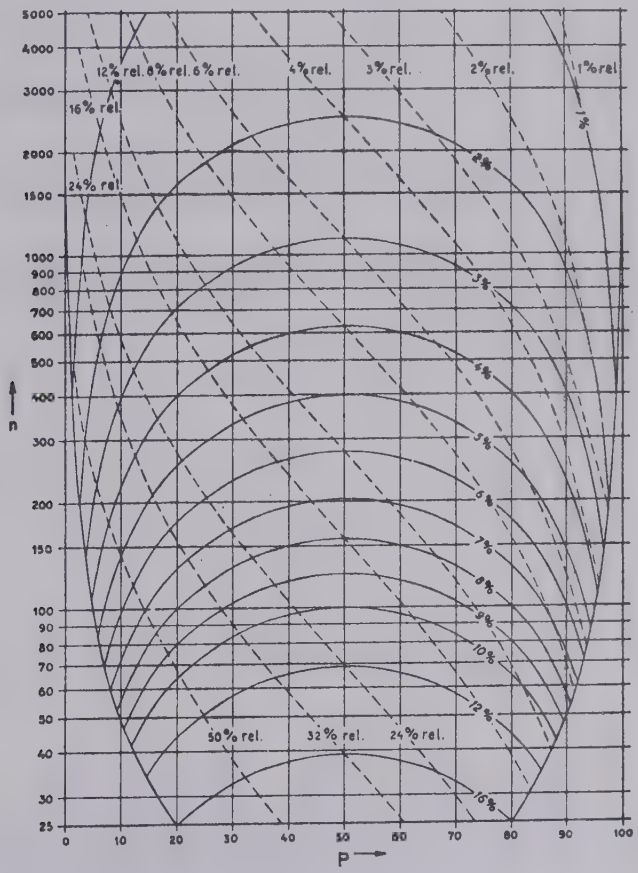


Abb. 60: Diagramm zur Abschätzung des relativen und absoluten Fehlers bei Modal-Analysen nach PLAS & TOBI (1965:88).

n = Zahl der gezählten Punkte p = n in Vol.-%
- absoluter Fehler in Vol.-% -- relativer Fehler in Vol.-%

Tab. 3: Modal-Analysen wichtiger repräsentativer Proben

Probe	2	4	6	12	15	31	32	33	46	47	57
Einsprenglinge:											
Quarz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,1	-
Kalifeldspat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17,9	-
Plagioklas	36,0	37,5	18,1	45,6	34,3	18,9	13,6	-	24,1	-	5,8
Biotit	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	1,8	-
Hornblende	0,5	-	-	-	1,3	-	-	-	13,7	-	28,0
Klinopyroxen	3,6	3,5	2,5	7,5	5,6	6,5	5,8	1,0	3,5	-	0,1
Orthopyroxen	4,2	5,7	7,8	4,3	4,8	3,2	4,5	0,2	2,2	-	0,1
Olivin	-	-	1,2	-	1,8	4,0	2,1	2,0	-	-	-
Cordierit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Akzessorien:											
Apatit	1,3	1,7	1,0	1,4	0,5	0,2	0,2	-	0,3	0,1	0,2
Zirkon	-	-	-	-	-	0,1	-	-	0,1	0,1	0,1
Erz	6,9	5,1	3,0	5,3	6,2	2,8	3,4	1,0	2,9	0,5	1,6
Cristobalit	-	2,0	-	-	0,5	0,1	-	-	-	-	1,6
Tridymit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sekundärprodukte	2,4	2,4	0,9	7,0	0,2	0,9	0,8	1,0	0,8	-	0,1
Poren	-	-	18,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Grundmasse:											
Kalifeldspat	6,5	-	4,7	-	-	-	7,0	-	10,5	-	12,5
Plagioklas	23,2	27,9	25,7	23,2	38,3	47,4	46,7	48,4	34,1	-	37,6
Pyroxen	15,2	-	0,9	2,9	0,9	9,5	5,6	14,5	5,2	-	-
Olivin	-	-	-	-	-	-	-	14,5	-	-	-
Erz	0,3	4,2	1,4	2,9	1,3	6,3	3,5	17,4	2,6	-	3,1
Sphärolith	-	-	-	-	-	-	-	-	-	77,7	-
Glas	-	10,0	14,0	-	4,5	-	7,0	-	-		9,4

Tab. 3: Fortsetzung

Probe	63	64	65	66	67	69	71	72	76	78	84
Einsprenglinge:											
Quarz	2,0	0,1	-	-	-	-	-	-	1,4	3,7	0,7
Kalifeldspat	18,0	2,8	0,3	0,1	1,0	-	-	-	-	-	-
Plagioklas	-	-	3,3	26,2	-	10,2	3,7	4,2	19,6	34,9	28,6
Biotit	1,8	0,4	0,5	1,3	0,2	-	0,4	0,4	0,8	3,5	-
Hornblende	-	-	2,3	8,9	-	3,0	2,8	3,1	6,9	3,7	0,8
Klinopyroxen	-	-	-	0,7	-	-	-	-	1,2	0,2	1,3
Orthopyroxen	-	-	-	0,5	-	1,1	0,1	-	0,7	0,2	2,1
Olivin	-	-	-	-	-	-	-	-	2,5	-	-
Cordierit	-	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Akzessorien:											
Apatit	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,4	0,9	0,1
Zirkon	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	0,1	0,1	-
Erz	0,5	0,4	1,1	2,7	0,1	0,7	3,2	2,5	2,0	2,7	1,8
Cristobalit	-	-	-	-	-	-	-	-	1,8	-	1,9
Tridymit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sekundärprodukte	0,1	-	8,1	-	-	-	0,1	-	-	-	-
Poren	-	-	-	-	20,0	43,4	-	-	-	-	23,0
Grundmasse:											
Kalifeldspat	-	9,3	8,5	-	-	-	18,0	13,5	6,2	-	-
Plagioklas	-	-	68,0	29,0	-	-	49,5	53,8	25,0	12,5	20,0
Pyroxen	-	-	-	-	-	-	-	-	3,1	-	7,0
Olivin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Erz	-	0,6	4,2	0,3	-	-	4,5	2,7	1,9	-	2,8
Sphärolith	77,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Glas		85,5	3,8	29,6	78,6	41,4	18,0	19,7	26,2	37,5	10,0

Tab. 3: Fortsetzung

Probe	87	88	100	104	106	107	115	116	119	122	128
Einsprenglinge:											
Quarz	2,5	1,1	0,2	1,0	1,5	-	-	-	-	0,2	-
Kalifeldspat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Plagioklas	12,5	11,1	2,0	13,7	20,4	28,3	27,4	24,6	36,2	14,6	11,5
Biotit	2,9	-	-	1,9	1,2	-	-	-	-	0,3	-
Hornblende	7,3	5,1	0,5	1,9	7,5	-	-	-	0,7	3,7	-
Klinopyroxen	-	2,3	5,3	-	-	2,1	1,8	1,5	2,7	2,1	0,5
Orthopyroxen	-	2,2	0,5	0,1	-	10,7	8,4	7,7	5,5	2,1	1,8
Olivin	-	3,6	-	-	-	-	2,5	-	-	2,4	5,1
Cordierit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Akzessorien:											
Apatit	0,3	0,1	0,1	0,4	0,2	0,3	0,2	0,2	0,5	0,3	0,2
Zirkon	0,1	-	-	-	0,1	0,1	-	-	0,1	0,2	-
Erz	1,2	1,3	2,4	0,5	3,4	2,2	0,7	1,6	3,4	0,7	1,6
Cristobalit	-	-	1,5	-	17,2	-	1,0	-	1,2	0,5	-
Tridymit	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sekundärprodukte	-	0,6	0,4	-	1,0	1,3	0,4	0,2	3,3	-	0,8
Poren	34,4	-	-	36,9	2,1	-	-	24,3	6,5	2,4	5,0
Grundmasse:											
Kalifeldspat	-	-	15,0	-	-	-	-	-	-	7,1	3,7
Plagioklas	-	36,2	59,1	-	18,1	33,0	17,3	6,0	8,0	24,7	22,1
Pyroxen	-	7,2	0,5	-	-	5,5	-	2,0	0,8	3,5	3,7
Olivin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,5	7,4
Erz	-	7,2	1,2	-	1,3	5,5	11,5	2,0	2,0	3,5	0,7
Sphärolith	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Glas	39,0	21,7	11,3	43,6	25,8	11,0	28,8	30,1	29,2	28,3	36,0

4.2.6 Ergebnisse der Universal-Drehtisch-Messungen

Nach der Fedorow-Methode (BURRI, 1950:255 ff) wurden mit einem vierkreisigen Universal-Drehtisch der Firma Zeiss folgende Mineral-Eigenschaften vermessen:

1. optischer Achsenwinkel 2 V_x bzw. 2 V_z
2. Auslöschungswinkel (AS)
3. Zwillingsebenen.

Der Anorthit-Gehalt der Plagioklase wurde teils mit Hilfe der Zonenmethode nach RITTMANN (1929:1 ff), teils mit Hilfe des Achsenwinkel-Diagramms 2 V_γ/Anorthitgehalt nach BURRI, PARKER & WENK (1967:203 ff und Tafel XII) ermittelt.

Die Auslöschungsschiefe der Amphibole und der Pyroxene wurde z. T. nach der Methode von RAASE (1970:133 ff) bestimmt.

Tab. 4: Ergebnisse der Universal-Drehtisch-Messungen repräsentativer Proben

Probe	An-Gehalt Phänokr.	An-Gehalt Matrix	Anorthoklas	Cordierit	Biotit	Hornblende		Klinopyroxen		Orthopyroxen		Olivin
			$2V_x$	$2V_x$	$2V_x$	$2V_x$	AS	$2V_z$	AS	$2V_x$	$2V_z$	$2V_x$
2	34 - 43	n.b.	-	-	n.b.	59°	3-5°	54°	43°	60°	-	-
4	37 - 57	n.b.	-	-	-	-	-	52°	43°	55°	-	-
6	37 - 60	28 - 32	-	-	-	-	-	50°	40°	56°	-	88°
12	42 - 69	30 - 34	-	-	-	-	-	50°	41°	64°	89°	-
15	37 - 57	n.b.	-	-	-	n.b.	18°	54°	40°	65°	-	86°
31	42 - 56	35 - 43	-	-	-	-	-	51°	42°	65°	-	n.b.
32	45 - 63	28 - 34	-	-	-	-	-	53°	43°	65°	-	83°
33	-	53 - 57	-	-	-	-	-	55°	39°	-	88°	86-88°
46	38 - 57	30 - 36	-	-	-	n.b.	n.b.	55°	38°	n.b.	-	-
47	-	-	55°	-	18°	-	-	-	-	-	-	-
57	29 - 50	28 - 35	-	-	-	80-84 86°	7-9° 18°	n.b.	n.b.	n.b.	-	-
63	-	-	56°	-	18°	-	-	-	-	-	-	-
64	-	-	53°	70°	n.b.	-	-	-	-	-	-	-
65	43 - 56	28 - 33	-	-	n.b.	n.b.	n.b.	-	-	-	-	-
66	30 - 47	30 - 34	-	-	n.b.	62°	4-5°	26°	39°	60°	-	-
67	-	-	n.b.	-	23°	-	-	-	-	-	-	-
69	33 - 55	-	-	-	-	80°	17°	-	-	60°	-	-
71	42 - 56	25 - 36	-	-	18°	61°	0-5°	-	-	n.b.	-	-
72	41 - 47	31 - 33	-	-	8°	67°	17°	-	-	-	-	-
76	35 - 62	32 - 35	-	-	19°	60°	4-7°	57°	38°	n.b.	-	87°
78	35 - 64	33 - 37	-	-	18°	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	-	-
84	39 - 73	33 - 43	-	-	-	n.b.	n.b.	n.b.	44°	78°	-	-
87	30 - 52	-	-	-	24°	n.b.	15°	-	-	-	-	-

Tab. 4: Fortsetzung

Probe	An-Gehalt Phänokr.	An-Gehalt Matrix	Anorthoklas $2V_x$	Cordierit $2V_x$	Biotit $2V_x$	Hornblende		Klinopyroxen		Orthopyroxen		Olivin $2V_x$
						$2V_x$	AS	$2V_z$	AS	$2V_x$	$2V_z$	
88	38 - 64	35 - 40	-	-	-	n.b.	n.b.	n.b.	39°	-	87°	86°
100	40 - 46	33 - 40	-	-	-	n.b	n.b.	48°	43°	60°	-	-
104	31 - 45	-	-	-	16°	68°	17°	-	-	n.b.	-	-
106	35 - 52	32 - 35	-	-	18°	n.b.	1-5°	-	-	-	-	-
107	46 - 57	30 - 35	-	-	-	-	-	56°	46°	68°	-	-
115	48 - 53	28 - 34	-	-	-	-	-	52°	42°	70°	-	86-88°
119	33 - 54	n.b.	-	-	-	60°	1-3°	48°	44°	62-65°	-	-
122	37 - 52	33 - 37	-	-	n.b.	60°	3-8°	53°	42°	66°	-	86°
128	37 - 53	36 - 38	-	-	-	-	-	54°	42°	65°	-	88°

5. Gesteins- und Mineral-Analysen

5.1 Gesteins-Analysen (Tab. 5--7)

Die Gesteins-Analysen (Tab. 5) wurden mit Hilfe der Röntgenfluoreszenz-Analyse (SiO_2, Al_2O_3 und TiO_2), der Atomabsorptions-Analyse (MgO, Na_2O, K_2O und CaO), der Spektralphotometrie (Gesamteisen als FeO und P_2O_5) sowie titrimetrisch (Fe^{II} als FeO) und über die Glühverlust-Methode (GV = überwiegend H_2O) bzw. durch direkte (CO_2) oder indirekte (H_2O^-) gravimetrische Bestimmung im Geochemischen Labor des Mineralogisch-Petrographischen Institutes unter der Anleitung von Prof. Dr. P. K. HÖRMANN in Kiel durchgeführt.
Die Spurenelement-Analysen (Tab. 6) und die Analysen der Elemente der Seltenen Erden (Tab. 7) wurden mit Hilfe der Neutronenaktivierungs-Analyse von Dr. F. SCHLEY im Hahn-Meitner-Institut in Berlin ermittelt.

Die Werte der Haupt- und Nebenelement-Analysen der jungen Vulkanite Süd-Kolumbiens sowie deren CIPW- und RITTMANN-Normen (trockene vulkanische Fazies) sind der Tab. 5 zu entnehmen. Die sich aus der RITTMANN-Norm ergebenden Gesteinsnamen nach STRECKEISEN (1980:194 ff) sind in der Probenbeschreibung in Kapitel 4.2.2 und in Tabelle 2 aufgeführt.
Bei den meisten Gesteinen handelt es sich um frisches Probenmaterial. Nur untergeordnet treten normative Gehalte von Calcit (Proben 10, 60, 67, 73, 92 und 116), Cordierit (Proben 55, 62, 63, 64, 67, 92, 102, 104, 108, 110 und 127), Muskovit (Proben 64 und 67) oder Sillimanit (Probe 63) auf.
Bei der Probe 64 (Obsidian vom Sotará) handelt es sich um primären Cordierit (idiomorphe, randlich resorbierte Kristalle (Abb. 49)), bei allen anderen Proben sind Cordierit, Calcit (mit Ausnahme von Probe 92), Muskovit oder Sillimanit mikroskopisch nicht nachweisbar. D. h., es handelt sich bei den oben genannten Proben sehr wahrscheinlich um mehr oder weniger unfrisches Material. Dafür sprechen auch die mikroskopisch bis submikroskopisch auftretenden Tonminerale (Tab. 2).

Proben-Nr.	1	3	4	5	6	10
MAJOR ELEMENTS						
SIO2	58,85	58,20	59,40	59,47	62,00	59,13
AL2O3	16,33	17,60	17,10	16,26	15,60	17,74
FE2O3	-	5,05	4,20	-	2,80	-
FEO	5,61	1,55	2,05	6,15	2,75	5,01
MNO	0,11	0,09	0,11	0,12	0,11	0,08
MGO	3,13	2,40	2,75	3,46	3,15	2,79
CAO	6,10	6,20	5,50	5,99	5,85	5,91
NA2O	4,13	4,55	3,95	4,03	3,90	3,94
K2O	2,68	2,10	2,60	2,08	2,45	2,17
TIO2	1,15	0,85	0,88	0,86	0,78	0,95
P2O5	0,29	0,35	0,27	0,25	0,26	0,27
CO2	-	-	-	-	-	0,05
H2O	0,45	0,85	0,90	0,24	0,50	1,72
TOTAL	98,83	99,79	99,71	98,91	100,15	99,76
CIPW NORM						
Q	9,2	9,3	12,3	10,8	14,7	12,0
OR	15,8	12,4	15,4	12,3	14,5	12,8
AB	34,9	38,5	33,4	34,1	33,0	33,3
AN	18,1	21,4	21,3	20,1	17,8	24,3
DI	8,1	5,5	3,3	6,4	7,5	2,3
HY	5,5	3,4	5,3	9,3	5,9	7,1
MT	3,8	2,8	4,4	3,4	4,1	3,6
HM	-	3,1	1,2	-	-	-
IL	2,2	1,6	1,7	1,6	1,5	1,8
AP	0,7	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6
CC	-	-	-	-	-	0,1
RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)						
QUARTZ	8,1	7,6	10,7	10,9	14,3	11,4
SANIDINE	21,7	13,2	19,8	14,4	18,9	14,5
PLAGIOCLASE	52,0	63,8	54,9	56,6	50,0	60,5
CLINOPYROXENE	8,6	5,9	3,5	6,6	7,8	2,4
HYPERSTHENE	6,8	6,3	8,2	8,7	6,5	8,4
CALCITE	-	-	-	-	-	0,1
MAGNETITE	1,0	1,5	1,4	1,5	1,2	1,1
ILMENITE	1,1	0,9	0,9	0,9	0,7	1,0
APATITE	0,6	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5
COLOUR INDEX	17,6	14,6	14,1	17,6	16,3	12,9
Q COORDINATES	9,9	9,0	12,5	13,3	17,2	13,2
A STRECKEISEN	26,5	15,6	23,2	17,6	22,7	16,7
P DOUBLE-	63,5	75,3	64,3	69,1	60,1	70,0
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	2,9	2,9	2,6	2,3	2,1	2,3
TAU RITTMANN	8,5	10,9	11,4	11,0	11,3	11,3

Tab. 5: Hauptelement-Analysen und normative Berechnungen der jungen Vulkanite Süd-Kolumbiens

Proben-Nr.	11	12	13	15	16	18
MAJOR ELEMENTS						
SIO2	59,22	57,16	58,97	59,13	60,71	60,25
AL2O3	16,60	17,03	16,79	16,50	16,27	16,29
FE2O3	3,08	7,50	-	-	-	-
FEO	2,95	-	5,85	5,89	5,63	5,93
MNO	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,10
MGO	3,25	3,53	3,50	3,41	2,65	3,10
CAO	6,03	6,33	6,10	5,84	5,07	5,01
NA2O	3,95	3,88	4,10	4,09	4,29	3,87
K2O	2,13	1,92	2,19	2,43	2,86	2,39
TIO2	0,82	0,89	0,83	0,86	0,84	0,84
P2O5	0,25	0,27	0,26	0,28	0,27	0,25
H2O	0,37	1,08	0,01	0,36	0,88	1,12
TOTAL	98,75	99,69	98,70	98,89	99,58	99,15
CIPW NORM						
Q	11,8	10,5	9,3	9,4	10,9	13,1
OR	12,6	11,3	12,9	14,4	16,9	14,1
AB	33,4	32,8	34,7	34,6	36,3	32,7
AN	21,3	23,4	20,9	19,5	16,7	20,0
DI	5,6	2,8	6,1	6,2	5,4	2,6
HY	7,2	7,5	9,1	8,8	6,9	9,9
MT	4,5	-	3,4	3,4	3,4	3,4
HM	-	7,5	-	-	-	-
IL	1,6	0,2	1,6	1,6	1,6	1,6
TN	-	1,9	-	-	-	-
AP	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)						
QUARTZ	11,1	8,5	9,2	9,3	10,8	13,1
SANIDINE	14,6	12,1	15,2	18,2	24,0	17,5
PLAGIOCLASE	57,4	60,9	57,8	54,8	50,3	54,2
CLINOPYROXENE	5,9	5,3	6,3	6,4	5,5	2,7
HYPERSTHENE	8,3	10,3	8,6	8,4	6,6	9,7
MAGNETITE	1,3	1,6	1,4	1,4	1,4	1,4
ILMENITE	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9
APATITE	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5
COLOUR INDEX	16,4	18,1	17,2	17,0	14,4	14,7
Q COORDINATES	13,4	10,4	11,2	11,3	12,7	15,5
A STRECKEISEN	17,6	14,8	18,5	22,1	28,2	20,6
P DOUBLE-	69,1	74,8	70,3	66,5	59,1	63,9
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	2,3	2,4	2,5	2,6	2,9	2,3
TAU RITTMANN	11,8	11,3	11,6	10,9	10,8	11,4

Tab. 5: Fortsetzung

Proben-Nr.	21	23	25	26	27	28
MAJOR ELEMENTS						
SIO2	61,52	58,62	60,71	59,51	61,96	58,48
AL2O3	15,94	16,17	16,38	16,66	16,95	16.16
FE2O3	-	-	5,89	6,58	6,23	6.09
FEO	5,07	6,19	-	-	-	-
MNO	0,10	0,10	0,08	0,11	0,15	0.10
MGO	3,15	4,06	2,79	3,24	2,02	3,14
CAO	5,19	6,43	5,01	5,41	4,26	5.32
NA2O	4,15	4,12	4,23	4,18	4,45	3,73
K2O	2,51	1,94	2,63	2,38	2,42	2.35
TIO2	0,76	0,97	0,73	0,75	0,59	0,72
P2O5	0,22	0,28	0,26	0,27	0,21	0.26
H2O	0,37	0,22	0,12	1,10	1,25	2.04
TOTAL	98.98	99,10	99.33	100.19	100,49	98.39
CIPW NORM						
Q	13,0	8,8	12,7	11,6	15,4	13.4
OR	14,8	11,5	15,5	14,1	14,3	13,9
AB	35,1	34,9	35,8	35,4	37,7	31.6
AN	17,5	19,9	19,3	19,7	19,1	20.4
DI	5,5	8,2	1,3	2,5	-	1.7
HY	7,5	9,6	6,4	6,9	5,0	7,0
MT	3,3	3,6	-	-	-	-
HM	-	-	5,9	6,6	6,2	6,1
IL	1,4	1,8	0,2	0,2	0,3	0.2
RU	-	-	-	-	0,2	-
TN	-	-	1,6	1,5	0,4	1.5
AP	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0.6
RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)						
QUARTZ	13,0	8,7	11,3	10,0	13,8	12,2
SANIDINE	19,6	12,4	20,1	17,4	17,3	18.1
PLAGIOCLASE	51,9	58,2	54,7	56,3	57,9	54.0
CLINOPYROXENE	5,6	8,5	3,2	4,5	0,5	3,6
HYPERSTHENE	7,5	9,1	8,0	9,0	7,9	9.4
MAGNETITE	1,2	1,4	1,3	1,5	1,5	1,3
ILMENITE	0,8	0,9	0,8	0,8	0,6	0.8
APATITE	0,4	0,6	0,5	0,5	0,4	0.5
COLOUR INDEX	15,1	20,0	13,3	15,7	10.6	15.1
Q COORDINATES	15,3	11,0	13,2	11,9	15,5	14.5
A STRECKEISEN	23,3	15,7	23,3	20,8	19,4	21,5
P DOUBLE-	61,4	73,3	63,5	67,3	65,1	64.0
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	2,4	2,4	2,7	2,6	2,5	2,4
TAU RITTMANN	12,0	9,6	12,8	12,2	15,6	12,7

Tab. 5: Fortsetzung

Proben-Nr.	29	30	31	32	33	35
MAJOR ELEMENTS						
SIO2	49,57	59,82	54,58	56,62	54,44	43.92
AL2O3	14,49	16,78	17,42	15,93	15,41	11.95
FE2O3	9,67	5,56	2,95	-	-	11.42
FEO	-	-	4,53	6,85	7,44	-
MNO	0.11	0,08	0,12	0,12	0,12	0.13
MGO	10,29	3,94	4,98	4,61	6,17	10.72
CAO	9,55	5,03	7,16	6,90	8,89	11.30
NA2O	3,52	4,75	3,82	4,00	4,15	3.65
K2O	1,10	2,00	1,33	1,75	0,57	0.74
TIO2	1,19	0,79	1,19	1,06	1,46	2.04
P2O5	0,51	0,33	0,34	0,32	0,37	1.03
H2O	0,56	0,70	0,97	0,51	0,19	1,92
TOTAL	100,56	99,78	99,39	98,67	99,21	98.82
CIPW NORM						
Q	-	9,7	5,1	6,5	3,6	-
OR	6,5	11,8	7,9	10,3	3,4	4.4
AB	29,8	40,2	32,3	33,8	35,1	23.3
AN	20,5	18,6	26,5	20,3	21,7	14.0
NE	-	-	-	-	-	4.1
DI	15,5	1,4	5,5	9,5	15,9	22.3
HY	6,5	9,2	13,9	11,2	11,4	-
OL	8,4	-	-	-	-	11.4
MT	-	-	4,3	3,7	4,3	-
HM	9,7	5,6	-	-	-	11,4
IL	0,2	0,2	2,3	2,0	2,8	0.3
TN	-	1,7	-	-	-	-
PF	1,8	-	-	-	-	3.2
AP	1,2	0,8	0,8	0,7	0,9	2.4
RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)						
QUARTZ	-	8,4	3,3	5,9	2,4	-
SANIDINE	4,1	11,5	4,6	10,5	-	2,7
PLAGIOCLASE	54,9	63,5	67,7	59,3	65.0	33.3
NEPHELINE	1,1	-	-	-	-	9.3
CLINOPYROXENE	20,8	3,5	5,9	10,1	17,5	33,9
HYPERSTHENE	-	10,3	14,8	11,3	11,9	-
OLIVINE	15,7	-	-	-	-	15,6
MAGNETITE	1,4	1,2	1,2	1,2	1,1	1.7
ILMENITE	1,0	0,8	1,3	1,0	1,3	1.0
APATITE	1,1	0,7	0,7	0,7	0,8	2,4
COLOUR INDEX	38,8	15,9	23,1	23,6	31,9	52.2
Q COORDINATES	-	10,1	5,1	7,7	3,5	-
A STRECKEISEN	6,9	13,7	6,0	13,9	-	6.0
P DOUBLE-	91,3	76,1	88,9	78,4	96,5	73.5
F TRIANGLE	1,9	-	-	-	-	20.5
SIGMA RITTMANN	3,2	2,7	2,3	2,4	1,9	20,9
TAU RITTMANN	6,5	10,7	8,9	8,6	6,2	2,7

Tab. 5: Fortsetzung

Proben-Nr.	37	38	39	40	44	45
MAJOR ELEMENTS						
SIO2	44,67	54,61	42,94	40,19	74,20	63.78
AL2O3	13,01	15,56	11,93	10,23	13,60	15.85
FE2O3	10,95	7,62	11,64	12,27	1,20	1.71
FEO	-	-	-	-	0,30	3.29
MNO	0,14	0,09	0,13	0,13	0,07	0.07
MGO	11.41	7,18	12,41	14,78	0,25	2,15
CAO	11,27	6,81	11,44	13,59	0,75	4,52
NA2O	1,74	3,68	3,43	3,10	4,60	4,20
K2O	0,77	1,50	2,11	1,37	4,20	2,47
TIO2	1,83	0,99	2,12	2,46	0,21	0.65
P2O5	0,89	0,30	1,14	1,33	0,04	0,21
H2O	3,38	1,74	0,09	0,97	0,40	0.71
TOTAL	100,06	100,08	99,38	100,42	99,82	99,61
CIPW NORM						
Q	-	5,2	-	-	29,5	16.8
OR	4,6	8,9	12.5	8,1	24,8	14.6
AB	14,7	31,1	8,8	0,9	38,9	35.5
AN	25,4	21,5	10,9	10,0	3,5	17.1
NE	-	-	11,0	13,7	-	-
DI	14,7	5,6	24,5	31,7	-	3.2
HY	20,1	15,3	-	-	0,6	7,5
OL	1,1	-	13,7	15,5	-	-
MT	-	-	-	-	0,6	2.5
HM	10,9	7,6	11,6	12,3	0,8	-
IL	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	1,2
TN	-	2,2	-	-	-	-
PF	2,8	-	3,4	3,9	-	-
AP	2,1	0,7	2,6	3,1	0,1	0.5
C	-	-	-	-	0,2	-
RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)						
QUARTZ	-	2,8	-	-	29,7	17.4
SANIDINE	2,2	7,9	14,2	-	-	19,1
ANORTHOCLASE	-	-	-	-	67,1	-
PLAGIOCLASE	47,6	59,4	10.5	0,6	-	51,8
NEPHELINE	-	-	15.5	15,2	-	-
LEUCITE	-	-	-	6,5	-	-
CLINOPYROXENE	23,4	9,0	37,2	52,5	-	3.2
HYPERSTHENE	7,4	17,8	-	-	-	6,2
OLIVINE	14,3	-	17.8	20,3	-	-
BIOTITE	-	-	-	-	2,8	-
MAGNETITE	1,2	1.5	1,8	1,7	0,2	1.2
ILMENITE	1.8	1,0	0.4	-	0,1	0.7
APATITE	2.1	0,6	2.6	3,1	0,1	0.4
COLOUR INDEX	48.1	29,2	57,2	74,5	3,2	11.3
Q COORDINATES	-	3,9	-	-	30,7	19,8
A STRECKEISEN	4.5	11.3	35.4	-	69,3	21.6
P DOUBLE-	95,5	84,7	26,2	2,9	-	58,6
F TRIANGLE	-	-	38,5	97,1	-	-
SIGMA RITTMANN	3.8	2,3	-511.5	-7,1	2,5	2.1
TAU RITTMANN	4,1	9,2	2.6	1.9	36,0	13.5

Tab. 5: Fortsetzung

Proben-Nr.	46	47	50	51	52	55
MAJOR ELEMENTS						
SIO2	59,40	73,20	60,30	61,19	60,77	58,71
AL2O3	16,25	13,20	16,18	16,44	16,33	17,36
FE2O3	4,25	1,10	-	-	-	0,71
FEO	1,95	0,40	5,33	5,26	5,28	5,32
MNO	0,11	0,06	0,10	0,10	0,09	0,11
MGO	3,05	0,30	2,78	2,89	2,56	1,99
CAO	5,90	1,85	5,49	5,27	5,58	3,69
NA2O	4,25	4,90	4,39	4,31	4,39	3,80
K2O	2,15	3,95	1,91	1,97	1,77	2,28
TIO2	1,14	0,20	0,72	0,72	0,73	0,93
P2O5	0,36	0,04	0,26	0,24	0,26	0,41
H2O	0,95	0,65	0,59	0,82	0,79	3,77
TOTAL	99,76	99,85	98,55	99,21	98,55	99,08
CIPW NORM						
Q	12,0	26,7	12,9	13,5	13,6	14,6
OR	12,7	23,3	11,3	11,6	10,5	13,5
AB	36,0	41,5	37,1	36,5	37,1	32,2
AN	18,9	2,4	18,8	19,7	19,6	15,6
DI	6,2	1,6	5,4	3,9	5,1	-
WO	-	1,9	-	-	-	-
HY	4,7	-	7,2	8,1	6,6	12,8
MT	3,3	0,9	3,2	3,2	3,2	1,0
HM	1,9	0,5	-	-	-	-
IL	2,2	0,4	1,4	1,4	1,4	1,8
AP	0,8	0,1	0,6	0,6	0,6	0,9
C	-	-	-	-	-	2,9
RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)						
QUARTZ	10,2	26,3	13,1	13,5	13,7	13,9
SANIDINE	14,8	-	11,3	12,3	10,0	18,2
ANORTHOCLASE	-	69,3	-	-	-	-
PLAGIOCLASE	57,5	-	60,0	59,7	61,9	48,4
CLINOPYROXENE	6,7	3,6	5,6	4,0	5,3	-
HYPERSTHENE	7,9	-	7,0	8,0	6,6	6,8
CORDIERITE	-	-	-	-	-	9,9
MAGNETITE	1,0	0,4	1,3	1,3	1,3	0,9
ILMENITE	1,1	-	0,7	0,7	0,7	1,0
APATITE	0,7	0,1	0,5	0,5	0,5	0,8
TITANITE	-	0,4	-	-	-	-
COLOUR INDEX	16,7	4,4	14,6	14,0	13,9	18,6
Q COORDINATES	12,4	27,5	15,4	15,8	16,0	17,3
A STRECKEISEN	18,0	72,5	13,9	14,4	11,7	22,6
P DOUBLE-	69,6	-	70,7	69,8	72,3	60,1
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	2,5	2,6	2,2	2,2	2,1	2,4
TAU RITTMANN	8,0	34,6	12,0	12,6	12,1	10,1

Tab. 5: Fortsetzung

Proben-Nr.	56	57	58	59	60	61
MAJOR ELEMENTS						
SIO2	57,80	59,61	58,13	58,82	62,79	60.29
AL2O3	15.54	15,99	16.67	16,69	14,75	15,84
FE2O3	-	3,16	2,04	-	-	-
FEO	5,99	2,65	3,83	5,76	4,65	5,24
MNO	0,10	0,11	0,13	0,14	0,09	0,11
MGO	4,33	3,71	3,20	2,91	2,90	3,00
CAO	6,83	6,07	6,79	6,59	4,35	5,24
NA2O	4,17	4,27	3,81	3,71	3,56	3,81
K2O	1,85	2,29	1,74	2,09	1,97	2,23
TIO2	0,96	0,93	0,68	0,71	0,69	0,78
P2O5	0,37	0,39	0,26	0,32	0,18	0,23
CO2	-	-	-	-	0,12	-
H2O	0,81	0,58	1,70	1,71	2,46	1,90
TOTAL	98,75	99,76	98,98	99,45	98,51	98.67
CIPW NORM						
Q	7,9	10,3	10,6	11,7	21,2	14.5
OR	10,9	13,5	10,3	12,4	11,6	13,2
AB	35,3	36,1	32,2	31,4	30,1	32,2
AN	18,2	17,7	23,2	22,7	18,4	19.5
DI	10,6	7,8	7,1	6,4	1,0	4,0
HY	8,8	6,5	9,0	7,9	8,5	8,0
MT	3,6	4,6	3,0	3,2	3,2	3,3
IL	1,8	1,8	1,3	1,3	1,3	1,5
AP	0,9	0,9	0,6	0,7	0,4	0,5
CC	-	-	-	-	0,3	-
RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)						
QUARTZ	7.8	9,4	11.2	11,9	21,7	14.7
SANIDINE	11,8	16,6	10,3	14,4	13,9	16.2
PLAGIOCLASE	57,7	55,1	60,7	57,0	51,4	54.0
CLINOPYROXENE	11,3	8,2	7,4	6,6	1,0	4,2
HYPERSTHENE	8,3	7,7	7,8	7,4	9,6	8,4
CALCITE	-	-	-	-	0,3	-
MAGNETITE	1,4	1,3	1,3	1,3	1,0	1,2
ILMENITE	0,9	0,9	0,7	0,7	0,8	0.8
APATITE	0,8	0,8	0.5	0,7	0,4	0.5
COLOUR INDEX	21,9	18,1	17,2	16,1	12,4	14.6
Q COORDINATES	10.1	11,6	13,7	14,3	24,9	17,3
A STRECKEISEN	15,2	20,5	12.6	17,2	15,9	19,1
P DOUBLE-	74,6	67,9	73,8	68,4	59,2	63,6
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	2,4	2,6	2,0	2,1	1,5	2,1
TAU RITTMANN	8,5	8,9	13,7	12,6	12,9	11,9

Tab. 5: Fortsetzung

Proben-Nr.	62	63	64	65	66	67
MAJOR ELEMENTS						
SIO2	75,54	76,05	77,00	63,41	63,80	73.09
AL2O3	13,62	13,55	13,70	16,55	15,66	13.42
FE2O3	-	-	-	-	-	-
FEO	1,34	1,22	0,64	4,54	4,66	0.62
MNO	0,05	0,05	0,10	0,11	0,10	0.10
MGO	0,22	0,22	0,13	2,00	2,53	0.14
CAO	0,70	0,51	0,70	4,71	5,10	0.58
NA2O	4,95	4,70	4,47	4,43	4,09	4.33
K2O	3,30	2,68	3,63	2,38	2,47	3.58
TIO2	0,19	0,18	0,07	0,66	0,62	0.07
P2O5	0,02	0,03	0,08	0,28	0,20	0.05
CO2	-	-	-	-	-	0.09
H2O	0,44	1,06	0,21	0,14	0,88	3.27
TOTAL	100,37	100,25	100,73	99,21	100,11	99.34
CIPW NORM						
Q	32,3	37,1	35,6	16,2	17,0	33.1
OR	19,5	15,8	21,5	14,1	14,6	21.2
AB	41,9	39,8	37,8	37,5	34,6	36,6
AN	3,3	2,3	3,0	18,2	17,1	2.0
DI	-	-	-	2,6	5,5	-
HY	0,5	0,5	0,3	5,4	5,7	0.3
MT	-	-	0,1	3,1	3,1	0.1
HM	1,3	1,2	0,6	-	-	0.5
IL	0,1	0,1	0,1	1,3	1,2	0.1
RU	0,1	0,1	-	-	-	-
AP	0,0	0,1	0,2	0,6	0,5	0.1
C	0,7	2,1	1,3	-	-	1.7
CC	-	-	-	-	-	0,2
RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)						
QUARTZ	30,8	34,8	33,9	15,9	17,0	32,9
SANIDINE	-	-	-	16,9	19,2	-
ANORTHOCLASE	65,9	59,4	61,3	-	-	60,5
PLAGIOCLASE	-	-	-	56,3	50,4	-
CLINOPYROXENE	-	-	-	2,7	5,6	-
HYPERSTHENE	0,8	-	-	5,9	5,8	-
CALCITE	-	-	-	-	-	0.2
MUSCOVITE	-	-	1,8	-	-	3.3
CORDIERITE	2,1	4,6	2,7	-	-	2,8
SILLIMANITE	-	0,8	-	-	-	-
MAGNETITE	0,2	0,2	0,1	1,1	1,1	0.1
ILMENITE	0,2	0,2	0,1	0,7	0,6	0.1
APATITE	-	0,1	0,1	0,6	0,4	0.1
COLOUR INDEX	3,3	5,7	2,9	10,4	13,1	3,0
Q COORDINATES	31,8	37,0	35,6	17,9	19,6	35,2
A STRECKEISEN	68,2	63,0	64,4	18,9	22,2	64,8
P DOUBLE-	-	-	-	63,2	58,3	-
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	2.1	1,6	1,9	2,3	2,1	2.1
TAU RITTMANN	41,3	42,1	61,5	12,9	14,1	75,8

Tab. 5: Fortsetzung

Proben-Nr.	79	80	81	83	84	85
MAJOR ELEMENTS						
SIO2	60,40	64,28	64,97	65,20	56,80	64,82
AL2O3	14,97	15,86	16,08	15,45	16,80	14,94
FE2O3	-	-	-	-	-	1,95
FEO	5,98	3,86	4,26	4,21	7,51	2,55
MNO	0,12	0,06	0,07	0,08	0,14	0,07
MGO	4,96	1,47	1,56	2,05	3,73	1,94
CAO	6,84	3,84	4,33	4,49	7,64	3,87
NA2O	3,20	4,91	4,48	4,22	3,79	3,96
K2O	1,71	2,88	1,71	2,23	1,13	2,38
TIO2	0,60	0,56	0,59	0,36	0,94	0,61
P2O5	0,14	0,10	0,14	0,17	0,21	0,18
H2O	0,62	2,26	0,92	0,13	0,24	2,25
TOTAL	99,54	100,08	99,11	98,59	98,93	99,52
CIPW NORM						
Q	14,0	15,4	20,9	19,8	8,7	21,4
OR	10,1	17,0	10,1	13,2	6,7	14,1
AB	27,1	41,5	37,9	35,7	32,1	33,5
AN	21,4	12,7	18,7	16,6	25,5	16,0
DI	9,3	4,5	1,5	3,7	9,0	1,7
HY	12,5	2,3	4,6	5,7	10,9	6,2
MT	3,0	3,0	3,0	2,7	3,5	2,8
IL	1,1	1,1	1,1	0,7	1,8	1,2
AP	0,3	0,2	0,3	0,4	0,5	0,4
RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)						
QUARTZ	14,6	15,2	20,9	20,1	9,1	22,0
SANIDINE	10,6	24,1	8,7	15,9	2,4	18,9
PLAGIOCLASE	51,9	51,2	61,5	53,0	66,5	48,9
CLINOPYROXENE	9,7	4,6	1,5	3,6	9,4	1,7
HYPERSTHENE	11,2	3,0	5,5	5,5	9,6	6,4
MAGNETITE	1,3	1,0	1,0	1,1	1,6	1,0
ILMENITE	0,6	0,5	0,6	0,4	0,9	0,6
APATITE	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4
COLOUR INDEX	22,7	9,2	8,6	10,6	21,5	9,7
Q COORDINATES	18,9	16,8	22,9	22,6	11,6	24,5
A STRECKEISEN	13,8	26,6	9,6	17,8	3,1	21,1
P DOUBLE-	67,3	56,5	67,5	59,6	85,2	54,4
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	1,4	2,9	1,7	1,9	1,8	1,8
TAU RITTMANN	15,9	16,6	15,9	21,2	11,3	13,9

Tab. 5: Fortsetzung

Proben-Nr.	71	72	73	76	77	78
MAJOR ELEMENTS						
SIO2	64,77	63,53	65,45	62,60	60,62	65,10
AL2O3	15,92	16,37	15,47	15,50	14,93	15,73
FE2O3	-	-	-	-	-	2,45
FEO	4,07	4,37	3,83	5,27	5,94	1,96
MNO	0,11	0,11	0,08	0,11	0,12	0,07
MGO	1,85	1,78	1,63	4,27	4,72	1,88
CAO	3,66	4,40	3,98	5,91	6,80	4,46
NA2O	4,30	4,63	3,83	3,68	3,35	4,01
K2O	2,81	2,45	2,71	1,93	1,67	2,21
TIO2	0,60	0,63	0,54	0,59	0,55	0,56
P2O5	0,20	0,25	0,17	0,16	0,13	0,17
CO2	-	-	0,14	-	-	-
H2O	0,67	0,23	2,14	0,14	0,47	0,86
TOTAL	98,96	98,75	99,97	100,16	99,30	99,46
CIPW NORM						
Q	18,7	15,9	22,5	15,5	13,9	21,6
OR	16,6	14,5	16,0	11,4	9,9	13,1
AB	36,4	39,2	32,4	31,1	28,3	33,9
AN	15,8	16,6	17,0	20,1	20,8	18,4
DI	0,8	2,8	0,6	6,6	9,8	2,1
HY	5,3	4,6	4,6	10,8	11,8	4,5
MT	3,0	3,1	3,0	3,0	3,0	3,6
IL	1,1	1,2	1,0	1,1	1,0	1,1
AP	0,5	0,6	0,4	0,4	0,3	0,4
CC	-	-	0,3	-	-	-
RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)						
QUARTZ	18,4	15,7	22,3	15,6	14,6	21,3
SANIDINE	23,2	17,7	22,2	12,7	10,4	15,6
PLAGIOCLASE	49,3	56,3	46,9	52,9	52,4	53,1
CLINOPYROXENE	0,8	2,9	0,6	6,7	10,1	2,1
HYPERSTHENE	6,2	5,1	5,8	10,0	10,3	5,9
CALCITE	-	-	0,3	-	-	-
MAGNETITE	1,0	1,1	0,9	1,2	1,3	1,0
ILMENITE	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6
APATITE	0,4	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3
COLOUR INDEX	8,7	9,8	7,9	18,4	22,2	9,5
Q COORDINATES	20,3	17,5	24,4	19,2	18,9	23,7
A STRECKEISEN	25,5	19,7	24,3	15,7	13,4	17,4
P DOUBLE-	54,2	62,7	51,3	65,1	67,7	59,0
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	2,3	2,4	1,9	1,6	1,4	1,8
TAU RITTMANN	14,5	13,3	16,4	15,8	17,0	16,1

Tab. 5: Fortsetzung

Proben-Nr.	86	87	88	91	92	100
MAJOR ELEMENTS						
SIO2	64,66	64,58	58,33	63,82	63,80	58,02
AL2O3	15,86	15,56	15,63	15,38	14,50	17,31
FE2O3	-	-	-	-	-	-
FEO	4,42	4,08	6,91	4,17	3,49	6,01
MNO	0,08	0,08	0,14	0,08	0,07	0,08
MGO	2,18	1,72	5,29	1,90	2,18	3,23
CAO	4,41	4,19	7,84	4,31	4,66	5,20
NA2O	4,80	3,96	3,16	3,96	4,37	4,27
K2O	1,93	2,30	1,12	2,22	1,36	2,00
TIO2	0,65	0,55	0,83	0,57	0,39	0,92
P2O5	0,21	0,18	0,17	0,18	0,09	0,33
CO2	-	-	-	-	1,75	-
H2O	0,10	1,62	0,10	2,05	1,84	1,29
TOTAL	99,30	98,82	99,22	98,64	98,50	98,66
CIPW NORM						
Q	17,5	21,5	11,4	20,7	24,6	9,4
OR	11,4	13,6	6,6	13,1	8,0	11,8
AB	40,6	33,5	26,7	33,5	37,0	36,1
AN	16,0	17,9	25,2	17,6	11,5	22,2
DI	3,6	1,4	10,2	2,1	-	1,2
HY	5,2	4,9	13,7	5,1	6,3	10,7
MT	3,1	3,0	3,4	3,0	2,7	3,5
IL	1,2	1,0	1,6	1,1	0,7	1,7
AP	0,5	0,4	0,4	0,4	0,2	0,8
C	-	-	-	-	1,6	-
CC	-	-	-	-	4,0	-
RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)						
QUARTZ	17,4	21,6	11,8	21,0	23,1	9,1
SANIDINE	10,8	17,0	3,5	16,3	2,3	12,5
PLAGIOCLASE	60,3	52,1	59,1	52,6	57,5	63,2
CLINOPYROXENE	3,6	1,4	10,7	2,1	-	1,3
HYPERSTHENE	5,7	5,9	12,5	6,1	6,4	10,8
CALCITE	-	-	-	-	4,1	-
CORDIERITE	-	-	-	-	5,4	-
MAGNETITE	1,1	1,0	1,4	1,0	0,5	1,4
ILMENITE	0,7	0,6	0,8	0,6	0,4	1,0
APATITE	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,7
COLOUR INDEX	11,1	8,9	25,3	9,8	12,8	14,5
Q COORDINATES	19,6	23,8	15,9	23,3	27,9	10,8
A STRECKEISEN	12,3	18,7	4,7	18,1	2,7	14,7
P DOUBLE-	68,1	57,4	79,5	58,6	69,4	74,5
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	2,1	1,8	1,2	1,8	1,6	2,6
TAU RITTMANN	12,9	15,9	12,5	15,2	21,1	10,4

Tab. 5: Fortsetzung

Proben-Nr.	101	102	104	105	106	107
MAJOR ELEMENTS						
SIO2	63,60	63,91	68,15	69,00	68,40	60,18
AL2O3	14,40	17,18	15,41	14,35	15,50	15,78
FE2O3	3,05	4,45	-	1,90	2,45	3,43
FEO	2,35	0,31	2,94	1,30	1,00	2,25
MNO	0,07	0,06	0,07	0,07	0,08	0,06
MGO	2,65	0,60	1,12	1,10	1,35	4,01
CAO	4,75	1,96	3,41	3,60	3,75	5,12
NA2O	4,05	3,76	4,17	3,85	4,05	3,98
K2O	2,35	3,53	2,01	2,30	2,20	2,05
TIO2	0,85	0,66	0,34	0,37	0,50	0,78
P2O5	0,26	0,23	0,12	0,14	0,14	0,26
H2O	1,70	3,50	1,72	1,80	0,45	1,59
TOTAL	100,08	100,15	99,46	99,78	99,87	99,49
CIPW NORM						
Q	19,1	24,1	27,5	29,1	26,8	13,9
OR	13,9	20,9	11,9	13,6	13,0	12,1
AB	34,3	31,8	35,3	32,6	34,3	33,7
AN	14,2	8,2	16,1	15,1	17,6	19,1
DI	6,0	-	-	1,5	0,1	3,6
HY	4,3	1,5	2,9	2,4	3,3	8,5
MT	4,4	-	2,7	2,8	2,0	5,0
HM	-	4,5	-	-	1,0	-
IL	1,6	0,8	0,6	0,7	0,9	1,5
RU	-	0,2	-	-	-	-
AP	0,6	0,5	0,3	0,3	0,3	0,6
C	-	4,2	0,5	-	-	-
RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)						
QUARTZ	18,6	20,0	26,7	29,2	26,2	12,8
SANIDINE	18,8	36,2	13,4	17,9	15,3	14,6
PLAGIOCLASE	47,7	27,5	52,8	46,3	51,8	55,3
CLINOPYROXENE	6,4	-	-	1,5	0,1	3,8
HYPERSTHENE	6,0	-	4,6	3,7	5,0	11,0
BIOTITE	-	1,2	-	-	-	-
CORDIERITE	-	13,3	1,5	-	-	-
MAGNETITE	1,2	0,7	0,4	0,7	0,7	1,2
ILMENITE	0,8	0,7	0,4	0,4	0,5	0,8
APATITE	0,5	0,5	0,2	0,3	0,3	0,5
COLOUR INDEX	14,3	15,8	6,9	6,3	6,3	16,8
Q COORDINATES	21,9	23,9	28,7	31,2	28,1	15,5
A STRECKEISEN	22,1	43,3	14,4	19,2	16,4	17,7
P DOUBLE-	56,1	32,8	56,9	49,6	55,5	66,9
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	2,0	2,5	1,5	1,5	1,5	2,1
TAU RITTMANN	9,3	15,1	24,4	20,6	17,9	11,3

Tab. 5: Fortsetzung

Proben-Nr.	108	110	111	112	114	115
MAJOR ELEMENTS						
SIO2	72,01	68,14	58,47	58,33	60,86	60,24
AL2O3	15,20	15,60	17,35	18,29	15,91	15,63
FE2O3	-	1,47	7,51	7,29	-	-
FEO	1,75	1,67	-	-	5,85	6,16
MNO	0,05	0,07	0,13	0,10	0,10	0,10
MGO	0,57	1,18	3,35	3,21	3,83	4,51
CAO	2,23	3,63	6,45	6,23	6,00	6,53
NA2O	4,39	3,97	3,69	3,87	3,89	3,54
K2O	2,35	2,00	1,27	1,26	1,59	1,48
TIO2	0,22	0,37	0,73	0,71	0,71	0,72
P2O5	0,07	0,12	0,16	0,17	0,15	0,15
H2O	0,87	2,15	0,87	0,53	0,22	0,21
TOTAL	99,71	100,37	99,98	99,99	99,11	99,27
CIPW NORM						
Q	32,0	27,6	14,6	13,6	13,9	13,6
OR	13,9	11,8	7,5	7,4	9,4	8,7
AB	37,1	33,6	31,2	32,7	32,9	30,0
AN	10,6	17,2	27,0	28,8	21,3	22,4
DI	-	-	1,5	-	6,1	7,3
HY	1,4	4,3	7,7	8,0	10,5	12,1
MT	-	2,1	-	-	3,2	3,2
HM	1,7	-	7,5	7,3	-	-
IL	0,2	0,7	0,3	0,2	1,3	1,4
RU	0,1	-	-	0,3	-	-
TN	-	-	1,4	0,7	-	-
AP	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3
C	1,5	0,6	-	-	-	-
RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)						
QUARTZ	30,4	27,1	12,5	11,3	14,1	14,0
SANIDINE	17,4	13,3	3,9	3,1	8,4	7,5
PLAGIOCLASE	45,5	51,9	66,5	70,3	59,1	57,5
CLINOPYROXENE	-	-	3,3	0,8	6,2	7,5
HYPERSTHENE	1,2	4,6	11,3	11,9	9,8	11,2
CORDIERITE	4,9	1,9	-	-	-	-
MAGNETITE	0,3	0,4	1,5	1,4	1,3	1,3
ILMENITE	0,2	0,4	0,8	0,8	0,7	0,7
APATITE	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
COLOUR INDEX	6,5	7,4	16,8	14,9	18,0	20,7
Q COORDINATES	32,5	29,4	15,1	13,4	17,3	17,7
A STRECKEISEN	18,7	14,4	4,7	3,6	10,3	9,5
P DOUBLE-	48,8	56,2	80,2	83,0	72,4	72,8
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	1,6	1,4	1,6	1,7	1,7	1,5
TAU RITTMANN	37,3	23,7	15,3	16,4	14,0	13,9

Tab. 5: Fortsetzung

Proben-Nr.	116	118	119	121	122	123
MAJOR ELEMENTS						
SIO2	61,09	60,58	61,14	61,11	62,81	62,52
AL2O3	15,74	15,91	15,67	15,85	15,19	15,20
FE2O3	-	-	-	6,07	5,54	5,60
FEO	5,75	5,59	5,42	-	-	-
MNO	0,09	0,10	0,08	0,08	0,08	0,07
MGO	3,61	4,26	3,70	3,78	3,77	3,63
CAO	5,96	5,50	5,58	4,96	5,24	5,11
NA2O	3,90	4,25	4,01	3,50	3,62	3,47
K2O	1,57	1,71	1,73	2,11	2,33	2,32
TIO2	0,70	0,76	0,77	0,61	0,64	0,62
P2O5	0,15	0,21	0,24	0,12	0,13	0,12
CO2	0,05	-	-	-	-	-
H2O	0,93	0,67	0,52	0,99	0,66	0,38
TOTAL	99,54	99,54	98,86	99,18	100,01	99,04
CIPW NORM						
Q	14,7	11,8	14,5	17,3	17,8	18,6
OR	9,3	10,1	10,2	12,5	13,8	13,7
AB	33,0	36,0	33,9	29,6	30,6	29,4
AN	20,8	19,3	19,6	21,3	18,3	19,0
DI	6,0	5,3	5,2	0,5	3,8	2,8
HY	9,8	11,3	9,3	9,2	7,6	7,7
MT	3,2	3,3	3,3	-	-	-
HM	-	-	-	6,1	5,5	5,6
IL	1,3	1,4	1,5	0,2	0,2	0,1
TN	-	-	-	1,3	1,3	1,3
AP	0,3	0,5	0,6	0,3	0,3	0,3
CC	0,1	-	-	-	-	-
RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)						
QUARTZ	15,1	11,8	14,6	16,0	16,8	17,7
SANIDINE	8,2	9,5	10,1	14,7	17,7	17,8
PLAGIOCLASE	58,9	59,9	57,9	53,3	48,7	48,4
CLINOPYROXENE	6,2	5,5	5,4	2,1	5,6	4,5
HYPERSTHENE	9,2	10,8	9,5	11,7	9,1	9,6
CALCITE	0,1	-	-	-	-	-
MAGNETITE	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1
ILMENITE	0,7	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6
APATITE	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,2
COLOUR INDEX	17.4	18.3	16.9	15.7	16.5	15.9
Q COORDINATES	18,3	14,5	17,7	19,1	20,2	21,0
A STRECKEISEN	10,0	11,7	12,2	17,5	21,2	21,2
P DOUBLE-	71,7	73,8	70,1	63,4	58,6	57,7
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	1,7	2,0	1,8	1,7	1,8	1,7
TAU RITTMANN	13,9	12,0	11,5	16,9	15,0	15,9

Tab. 5: Fortsetzung

Proben-Nr.	124	125	126	127	128	129
MAJOR ELEMENTS						
SIO2	54,47	63,66	63,89	60,35	59,10	60,21
AL2O3	16,50	15,03	15,25	15,51	14,97	15,18
FE2O3	8,81	4,97	5,44	5,56	6,84	7,07
FEO	-	-	-	-	-	-
MNO	0,12	0,07	0,08	0,04	0,09	0,09
MGO	4,55	2,61	3,12	2,09	5,60	5,53
CAO	8,18	4,54	4,94	3,55	6,36	6,39
NA2O	3,16	3,66	3,53	3,21	3,35	3,29
K2O	1,32	2,48	2,36	2,27	1,71	1,80
TIO2	0,79	0,55	0,58	0,60	0,67	0,71
P2O5	0,16	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11
H2O	1,53	0,84	0,27	5,14	0,28	0,04
TOTAL	99,59	98,51	99,56	98,43	99,08	100,42
CIPW NORM						
Q	9,9	20,5	20,5	22,6	13,6	14,6
OR	7,8	14,7	13,9	13,4	10,1	10,6
AB	26,7	31,0	29,9	27,2	28,3	27,8
AN	26,9	17,3	18,8	16,9	20,8	21,3
DI	8,0	2,3	2,6	-	6,3	5,9
HY	7,6	5,4	6,6	5,2	11,0	11,1
HM	8,8	5,0	5,4	5,6	6,8	7,1
IL	0,3	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2
RU	-	-	-	0,6	-	-
TN	1,6	1,2	1,2	-	1,4	1,5
AP	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
C	-	-	-	1,6	-	-
RITTMANN NORM (VOLCANIC FACIES)						
QUARTZ	7,1	20,0	19,5	20,7	11,9	12,8
SANIDINE	5,5	20,1	18,1	18,7	11,0	11,7
PLAGIOCLASE	61,8	47,2	48,0	45,4	52,8	51,8
CLINOPYROXENE	11,0	3,8	4,1	-	8,5	8,0
HYPERSTHENE	11,8	7,1	8,4	8,0	13,5	13,5
CORDIERITE	-	-	-	5,5	-	-
MAGNETITE	1,7	1,0	1,1	0,7	1,3	1,3
ILMENITE	0,8	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7
APATITE	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
COLOUR INDEX	25,3	12,5	14,2	14,9	24,0	23,5
Q COORDINATES	9,5	22,9	22,7	24,4	15,8	16,8
A STRECKEISEN	7,4	23,1	21,2	22,1	14,5	15,4
P DOUBLE-	83,1	54,0	56,1	53,5	69,7	67,9
F TRIANGLE	-	-	-	-	-	-
SIGMA RITTMANN	1,7	1,8	1,7	1,7	1,6	1,5
TAU RITTMANN	14,0	17,5	17,2	17,3	14,9	14,5

Tab. 5: Fortsetzung

Tab. 6 : Zusammenstellung der Spurenelement-Gehalte wichtiger Vulkanite (Angaben in ppm)

Probe	1	3	5	15	31	32	33	44	45
As	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Ba	1360	1140	1080	1060	831	800	375	1690	1180
Co	41,4	18,0	31,8	38,8	33,0	39,1	43,6	0,84	24,0
Cr	58,1	12,5	36,9	49,2	124	125	283	n.b.	63,9
Cs	2,53	1,51	3,32	3,02	1,88	2,49	n.b.	4,96	2,29
Hf	7,01	5,46	5,47	5,96	5,49	5,15	3,91	5,98	6,90
Rb	116	70,9	92,0	101	38,2	83,1	n.b.	188	100
Sb	n.b.	n.b.	0,46	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Sc	20,1	16,2	20,0	18,5	21,5	21,2	22,1	2,31	14,3
Se	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Sr	601	1010	540	675	596	637	669	n.b.	482
Ta	1,12	n.b.	0,96	1,20	0,82	0,85	0,63	1,44	1,06
Th	10,30	8,88	8,73	11,20	7,63	7,00	1,39	23,00	10,00
W	179	n.b.	113	184	70,6	136	132	n.b.	91,4
Zn	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	39,9	n.b.
Zr	373	n.b.	422	497	n.b.	n.b.	n.b.	294	376

Tab. 6 : Fortsetzung

Probe	55	57	60	63	64	65	66	67	72
As	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Ba	1460	1410	1020	1720	1560	1190	1030	1430	1240
Co	18,4	38,4	28,6	10,3	21,4	20,7	26,1	7,1	22,?
Cr	130	142	63,9	n.b.	n.b.	5,2	41,4	n.b.	n.b.
Cs	2,30	2,04	2,56	4,71	4,91	2,75	2,73	4,73	2,39
Hf	6,49	6,06	5,54	6,25	2,72	6,24	5,46	2,79	5,90
Rb	98,3	89,7	110	174	170	110	114	164	115
Sb	n.b.	n.b.	0,36	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Sc	15,7	16,4	13,5	2,37	1,76	9,95	12,3	1,69	8,69
Se	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Sr	514	1030	524	n.b.	n.b.	1070	176	98,8	812
Ta	1,13	1,38	1,04	1,42	1,75	1,52	1,00	1,51	1,56
Th	7,76	7,59	8,56	25,1	10,9	15,2	13,4	9,88	14,7
W	18,5	172	122	98,7	213	89,3	129	67,6	93,9
Zn	81,0	83,9	67,4	64,4	80,8	90,9	n.b.	64,9	102
Zr	296	472	409	298	165	290	185	124	331

Tab. 6 : Fortsetzung

Probe	76	77	78	84	85	100	101	102	104
As	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Ba	929	816	932	596	1110	1270	1210	1320	1220
Co	26,5	35,2	26,6	30,3	24,8	38,3	17,2	17,0	20,4
Cr	159	262	49,1	26,1	36,9	96,2	142	55,0	n.b.
Cs	2,84	2,41	3,59	1,59	4,16	n.b.	0,99	4,71	2,99
Hf	4,23	3,73	4,77	4,05	5,34	5,83	5,30	6,30	3,75
Rb	71,7	56,7	93,8	39,2	120	62,3	61,2	173	75,8
Sb	0,33	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,34	n.b.
Sc	20,0	26,2	9,32	17,6	8,09	14,3	14,9	11,7	5,76
Se	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Sr	427	n.b.	522	524	500	900	888	602	371
Ta	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,68	1,20	n.b.
Th	9,28	7,87	12,1	5,95	12,8	9,14	8,89	24,7	4,89
W	104	132	152	91,3	142	154	n.b.	34,3	142
Zn	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	76,2	52,7	n.b.	59,2
Zr	n.b.	n.b.	180	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	218

Tab. 6 : Fortsetzung

Probe	106	107	115	118	122	124	127	128
As	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	60,9	n.b.
Ba	1310	957	911	978	942	820	944	770
Co	7,39	23,10	35,60	33,10	65,60	66,00	48,20	75,00
Cr	7,66	250	164	133	168	132	60,7	394
Cs	2,41	1,50	1,62	1,32	4,43	n.b.	2,11	2,79
Hf	4,69	5,90	4,46	5,64	5,79	3,72	6,04	4,03
Rb	68,5	90,1	69,0	60,1	85,8	n.b.	88,4	60,7
Sb	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,99	n.b.	n.b.	n.b.
Sc	7,9	17,1	23,7	18,5	17,9	30,1	17,1	23,3
Se	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	7,97	n.b.
Sr	583	1010	n.b.	659	385	1020	146	n.b.
Ta	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Th	5,16	9,85	3,26	9,00	9,70	3,84	9,42	6,70
W	n.b.	60,2	112	81,0	420	351	359	486
Zn	84,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Zr	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Tab. 7 : Gehalte der Elemente der Seltenen Erden repräsentativer Proben (Angaben in ppm)

Probe	1	3	5	15	31	32	33	44	45	55	57	60
La	32,6	30,4	23,8	27,6	25,5	26,8	18,4	26,2	30,0	32,0	39,1	27,8
Ce	67,5	51,7	42,7	30,1	45,0	49,5	44,2	46,4	55,2	58,7	72,2	52,4
Nd	n.b.	40,8	n.b.	n.b.	33,5	n.b.	29,7	30,6	24,7	n.b.	44,8	n.b.
Sm	5,73	6,07	4,77	4,63	5,40	5,65	5,60	3,12	5,05	5,63	6,27	4,47
Eu	1,44	1,55	1,23	1,25	1,47	1,48	1,56	0,55	1,18	1,45	1,69	1,14
Tb	0,75	0,83	0,39	0,58	0,61	0,66	0,60	0,34	0,52	0,63	0,72	0,42
Yb	2,54	3,02	1,51	2,34	2,21	2,64	1,47	1,68	1,70	2,25	2,21	1,52
Lu	0,32	0,47	0,26	0,15	0,24	0,36	0,19	0,21	0,29	0,23	0,23	0,23

Probe	63	64	65	66	67	72	76	77	78	84	85	100
La	28,4	12,2	44,8	24,5	10,2	45,2	15,7	14,9	20,6	14,5	24,6	34,8
Ce	56,1	25,3	80,5	52,6	22,0	73,8	32,6	30,8	45,7	32,6	50,8	65,1
Nd	n.b.	n.b.	33,9	26,2	n.b.	30,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	25,0	104,0
Sm	3,84	2,00	5,52	4,05	2,46	5,35	3,80	3,53	3,91	4,33	4,67	5,51
Eu	0,63	0,44	1,57	1,11	0,39	1,49	1,09	1,03	1,15	1,40	1,19	1,56
Tb	0,42	0,32	0,57	0,35	0,31	0,41	0,57	n.b.	0,48	0,84	0,47	0,53
Yb	2,00	1,10	3,34	1,33	1,15	1,56	2,09	1,82	1,97	2,40	0,69	1,65
Lu	0,53	0,21	0,22	0,51	0,18	0,32	0,35	0,39	0,20	0,38	0,22	n.b.

Tab. 7 : Fortsetzung

Probe	101	102	104	106	107	115	118	122	124	127	128
La	45,7	30,7	15,7	15,4	32,9	13,0	22,1	16,1	13,0	16,3	11,1
Ce	69,5	59,1	31,3	34,0	55,9	25,6	45,1	40,9	n.b.	37,8	23,0
Nd	34,9	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Sm	6,81	3,55	2,97	2,94	5,92	3,62	4,53	3,64	3,85	3,73	3,13
Eu	2,21	0,98	0,84	0,92	1,55	1,09	1,31	0,95	1,11	0,88	0,93
Tb	0,72	n.b.	n.b.	n.b.	0,77	n.b.	0,26	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Yb	1,39	1,42	0,83	1,22	2,09	2,78	1,92	1,71	3,12	1,64	n.b.
Lu	0,36	0,28	0,20	0,23	0,35	0,31	0,25	0,28	0,40	0,38	0,25

5.2 Mineral-Analysen

Die im Kap. 5.2.1 aufgelisteten Mineral-Analysen bzw. Analysen eines vulkanischen Glases wurden mit der Tübinger Elektronenstrahl-Mikrosonde ARL mit angeschlossenem Rechner durchgeführt. Die Kationen-Berechnungen wurden teils von Hand teils mit dem von W. HUMMEL (Tübingen) aufgestellten FORTRAN-Programm errechnet.

Da es mit der Tübinger Mikrosonde nicht möglich ist, H_2O und F (G.V. = Glühverlust) sowie Fe_2O_3 quantitativ zu bestimmen, wurden für die jeweiligen Minerale folgende Durchschnittswerte nach Literaturangaben angenommen:

a) Biotit (LARSEN et al., 1937:902 f):
   Oxybiotit G.V. = 3,0 % und $Fe_2O_3 = FeO_{ges.}$ - 1,0 %
   Biotit G.V. = 3,0 % und $Fe_2O_3 = FeO_{ges.}$ - 5,0 %

b) Hornblende (WINCHELL, 1945:45; WILKINSON, 1961:343 ff und LARSEN, 1937:895 u.a.):
   Oxyhornblende G.V. = 1,5 % und $Fe_2O_3 = FeO_{ges.}$ - 3,0 %
   Femaghasting. G.V. = 2,0 % und FeO : Fe_2O_3 = 2 : 1

c) Pyroxen (DEER, HOWIE & ZUSSMAN, 1978:38 f und 306 f):
   Orthopyroxen (Opx) Fe_2O_3 = 1,0 %
   Klinopyroxen (Cpx) FeO : Fe_2O_3 = 5 : 1

Die in Kap. 5.2.2 angeführten Sphärolithe wurden mit dem Zählrohrgoniometer ($\lambda_{Cu_{K\alpha_1}}$ = 1,5418 Å) untersucht.

Die in Tab. 9 befindlichen hkl-Werte wurden der ASTM-Kartei (Analbit = high albite 20-572 und 10-393 sowie Tief-Cristobalit = alpha cristobalite 4-0379) entnommen.

5.2.1 Mineral- und Glas-Analysen mit der Mikrosonde

5.2.1.1 Obsidian-Glas

Probe	SiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	Summe
64	82,37	11,53	0,17	0,03	0,02	0,39	2,65	1,89	0,02	99,07

5.2.1.2 Cristobalit

Probe	SiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	Summe
15	98,05	0,50	0,08	0,03	---	0,08	0,11	0,10	0,11	99,06
84	97,36	1,29	0,06	---	0,02	0,10	0,75	0,19	0,17	99,94

Probe	"Aor"	Plag	Bi	Hbl	Cpx	Opx	Ol	Cr	Glas
12	-	+	-	-	+	+	-	-	-
15	-	+	-	-	+	+	+	+	-
33	-	+	-	-	+	-	+	-	-
47	+	-	+	-	-	-	-	-	-
52	-	+	+	+	-	-	-	-	-
57	-	+	-	+	-	-	-	-	-
64	+	-	-	-	-	-	-	-	+
66	-	+	+	+	+	+	-	-	-
76	-	+	+	+	+	-	+	-	-
84	-	+	-	-	-	+	-	+	-
106	-	+	+	+	-	-	-	-	-
107	-	+	-	-	+	+	-	-	-
115	-	+	-	-	+	-	+	-	-
119	-	+	-	+	-	+	-	-	-
127	-	+	-	-	-	-	-	-	-
128	-	+	-	-	+	+	+	-	-

Tab. 8 : Zusammenstellung der analysierten Mineralphasen

5.2.1.3 Alkalifeldspat: (K, Ca)-Analbit (Abb. 61)

Probe	47/1	47/2	47/3	64/1	64/2	64/3
SiO_2	63,98	66,74	65,77	63,14	62,93	62,46
Al_2O_3	23,14	21,34	21,82	24,60	23,02	23,81
FeO	0,19	0,17	0,15	0,11	0,26	0,08
CaO	3,22	1,88	2,42	4,34	3,68	4,65
Na_2O	7,72	6,77	7,88	8,27	8,67	8,37
K_2O	1,05	1,69	1,36	0,57	0,79	0,56
TiO_2	0,08	0,06	--	--	0,04	0,04
Summe	99,38	98,65	99,40	101,03	99,39	99,97

Anzahl der Kationen (bezogen auf O=32)

Si ┐	11,34	11,80	11,61	11,05	11,21	11,07
Al Z	4,83	4,44	4,53	5,07	4,83	4,96
Ti ┘	0,02	0,01	--	--	0,01	0,01
Summe	16,19	16,25	16,14	16,12	16,05	16,04
Fe ┐	0,03	0,02	0,02	0,01	0,04	0,01
Ca X	0,61	0,36	0,46	0,81	0,71	0,88
Na │	2,64	2,34	2,69	2,82	2,99	2,88
K ┘	0,26	0,38	0,32	0,13	0,17	0,13
Summe	3,54	3,10	3,59	3,77	3,91	3,90

Berechnung der Mol.-% $Or_xAb_xAn_x$ aus der allgemeinen Summenformel $X_4Z_{16}O_{32}$

Or	7,3	12,3	9,2	3,4	4,4	3,4
Ab	74,6	75,5	77,1	74,8	76,5	73,8
An	18,1	12,2	13,7	21,8	19,1	22,8

Da bis heute der Grenzbereich Analbit/Hoch-Oligoklas nicht definiert ist, kann aus Abb.61 nicht geklärt werden, ob es sich bei den untersuchten Feldspäten um Analbit oder um Oligoklas handelt. Dieses Dilemma wurde dadurch gelöst, daß eine Zählrohrgoniometer-Aufnahme gemacht wurde. Diese ergab eindeutig die Peaks von Analbit (high albite, ASTM-Nr. 20-572).

Probe	12/1	12/2	12/3	12/4	15/1	15/2	15/3	15/4	15/5	33/1	33/2
	Kern →			Rand	Kern →		Rand	Kern →	Rand	Matrix	Matrix
SiO_2	49,03	53,01	52,79	52,41	54,03	55,90	55,80	53,79	56,52	55,37	55,14
Al_2O_3	31,00	28,56	28,71	28,72	28,22	26,97	26,45	28,12	26,62	28,76	28,50
FeO	1,96	2,57	2,20	1,57	1,70	1,72	1,24	1,58	1,34	1,00	1,01
CaO	13,43	11,12	11,09	11,00	10,84	8,52	7,81	9,97	7,56	9,77	10,37
Na_2O	3,39	4,76	4,79	4,97	5,01	5,60	6,46	5,41	6,37	4,95	4,75
K_2O	0,30	0,56	0,55	0,46	0,51	1,10	0,93	0,74	1,07	0,42	0,37
Summe	99,11	100,58	100,13	99,13	100,31	99,81	98,69	99,61	99,48	100,27	100,14
Anzahl der Kationen (bezogen auf O=32)											
Si (Z)	9,15	9,65	9,65	9,65	9,82	10,15	10,22	9,84	10,20	9,96	9,94
Al (Z)	6,81	6,15	6,19	6,24	6,04	5,78	5,72	6,06	5,76	6,09	6,06
Summe	15,96	15,80	15,84	15,89	15,86	15,93	15,94	15,90	15,96	16,05	16,00
Fe (X)	0,16	0,39	0,34	0,24	0,26	0,26	0,19	0,24	0,20	0,15	0,15
Ca (X)	2,68	2,17	2,17	2,17	2,10	1,66	1,53	1,96	1,49	1,88	2,00
Na (X)	1,23	1,58	1,59	1,77	1,77	1,96	2,28	1,91	2,27	1,73	1,56
K (X)	0,07	0,13	0,13	0,11	0,11	0,26	0,22	0,15	0,27	0,09	0,09
Summe	4,14	4,27	4,22	4,29	4,24	4,14	4,22	4,26	4,23	3,85	3,80
Berechnung der Mol.-% $Or_xAb_xAn_x$ aus der allgemeinen Summenformel $X_4Z_{16}O_{32}$											
Or	1,7	3,0	3,1	2,6	2,6	6,3	5,2	3,5	6,4	2,3	2,4
Ab	29,7	37,0	37,4	41,2	41,7	47,3	54,0	44,8	53,7	44,9	41,1
An	68,6	60,0	59,5	56,2	55,7	46,4	40,8	51,7	39,9	52,8	56,5

Plagioklas (Fortsetzung)

Probe	52/1	52/2	52/3	52/4	52/5	57/1	57/2	57/3	57/4	66/1	66/2
	Kern →		Rand	Kern →	Rand	Kern →			Rand	Kern →	Rand
SiO_2	57,21	58,40	60,98	57,24	59,32	58,12	60,66	55,81	55,84	58,13	57,61
Al_2O_3	25,50	24,94	23,88	25,64	24,47	25,63	23,90	27,04	26,88	25,45	25,52
FeO	0,58	0,70	0,58	0,74	0,79	0,45	0,61	0,88	0,93	0,55	0,57
CaO	7,73	7,50	5,90	8,36	6,95	7,23	5,35	9,88	9,30	8,03	8,72
Na_2O	6,76	6,98	7,12	6,49	6,94	6,58	7,18	5,52	5,95	6,52	6,34
K_2O	0,67	0,66	0,88	0,53	0,94	0,61	0,70	0,58	0,41	0,63	0,55
Summe	98,45	99,18	99,34	99,00	99,41	98,62	98,40	99,71	99,31	99,31	99,31
Anzahl der Kationen (bezogen auf O=32)											
Si (Z)	10,45	10,60	10,94	10,41	10,70	10,54	10,97	10,12	10,15	10,50	10,44
Al (Z)	5,49	5,31	5,04	5,48	5,20	5,47	5,08	5,77	5,77	5,43	5,44
Summe	15,94	15,91	15,98	15,89	15,90	16,01	16,05	15,89	15,92	15,93	15,88
Fe (X)	0,09	0,11	0,09	0,11	0,12	0,08	0,09	0,14	0,14	0,09	0,09
Ca (X)	1,50	1,46	1,13	1,64	1,34	1,41	1,03	1,93	1,81	1,55	1,69
Na (X)	2,41	2,46	2,48	2,29	2,43	2,31	2,52	1,94	2,10	2,28	2,22
K (X)	0,15	0,15	0,22	0,11	0,22	0,13	0,15	0,13	0,09	0,13	0,13
Summe	4,15	4,18	3,92	4,15	4,11	3,93	3,79	4,14	4,14	4,05	4,13
Berechnung der Mol.-% $Or_xAb_xAn_x$ aus der allgemeinen Summenformel $X_4Z_{16}O_{32}$											
Or	3,6	3,6	5,6	2,7	5,4	3,3	4,0	3,1	2,2	3,2	3,1
Ab	58,1	58,9	63,3	55,2	59,1	58,8	66,5	46,9	50,7	56,3	53,8
An	38,3	37,5	31,1	42,1	35,5	37,9	29,5	50,0	47,1	40,5	43,1

Probe	66/3	66/4	66/5	76/1	76/2	76/3	76/4
	Kern →		Rand	Kern →			Rand
SiO_2	56,30	58,52	57,78	56,97	57,17	59,23	58,74
Al_2O_3	26,53	25,36	25,87	26,03	25,56	25,51	25,22
FeO	0,67	0,74	0,77	0,50	0,60	0,23	0,45
CaO	9,39	7,90	8,88	8,80	7,86	7,70	8,06
Na_2O	5,75	6,57	6,42	6,19	6,97	6,94	7,01
K_2O	0,55	0,72	0,70	0,44	0,58	0,41	0,52
Summe	99,19	99,81	100,42	98,93	98,74	100,02	100,00
Anzahl der Kationen (bezogen auf O=32)							
Si ⌐ Z	10,23	10,53	10,38	10,36	10,42	10,60	10,56
Al ⌙	5,68	5,39	5,48	5,57	5,50	5,37	5,33
Summe	15,91	15,92	15,86	15,93	15,92	15,97	15,89
Fe ⌐	0,11	0,11	0,12	0,08	0,09	0,03	0,07
Ca X	1,83	1,52	1,72	1,71	1,53	1,47	1,53
Na ⌙	2,03	2,29	2,22	2,18	2,45	2,41	2,44
K ⌙	0,13	0,15	0,15	0,10	0,13	0,09	0,11
Summe	4,10	4,07	4,21	4,07	4,20	4,00	4,15
Berechnung der Mol.-% $Or_xAb_xAn_x$ aus der allgemeinen Summenformel $X_4Z_{16}O_{32}$							
Or	3,2	3,7	3,6	2,4	3,1	2,3	2,7
Ab	49,5	56,3	52,7	53,6	58,3	60,3	58,8
An	47,3	40,0	43,7	44,0	38,6	37,4	38,5

Probe	84/1	84/2	84/3	84/4	84/5	84/6	84/7	84/8	84/9	84/10
	Rand ←				Kern					→ Rand
SiO_2	54,35	54,83	53,19	54,14	52,53	52,81	54,99	56,04	57,49	47,64
Al_2O_3	27,77	27,63	27,39	25,63	27,83	27,62	27,72	26,66	25,68	30,63
FeO	0,82	0,85	0,82	0,61	0,78	0,77	0,59	0,65	2,85	1,73
CaO	9,63	9,90	9,58	7,88	10,02	9,97	10,36	9,25	7,69	13,96
Na_2O	5,67	5,79	5,66	6,69	5,25	5,38	5,56	5,92	5,77	3,48
K_2O	0,28	0,35	0,33	0,40	0,32	0,31	0,32	0,32	1,04	0,23
Summe	98,52	99,35	96,97	95,35	96,73	96,86	99,54	98,84	100,52	97,67
Anzahl der Kationen (bezogen auf O=32)										
Si ⌐ Z	9,97	9,98	9,93	10,24	9,67	9,87	9,99	10,21	10,37	9,00
Al ⌙ Z	6,01	5,93	6,03	5,70	6,31	6,09	5,93	5,74	5,46	6,81
Summe	15,98	15,91	15,96	15,94	15,98	15,96	15,92	15,95	15,83	15,81
Fe ⌐	0,12	0,13	0,12	0,09	0,13	0,12	0,09	0,20	0,43	0,27
Ca X	1,89	1,94	1,92	1,60	2,06	2,00	2,02	1,81	1,49	2,84
Na	2,00	2,03	2,06	2,45	1,94	1,95	1,96	2,08	2,04	1,27
K ⌙	0,07	0,09	0,07	0,09	0,06	0,07	0,07	0,07	0,24	0,05
Summe	4,08	4,19	4,17	4,23	4,19	4,14	4,14	4,16	4,20	4,43
Berechnung der Mol.-% $Or_xAb_xAn_x$ aus der allgemeinen Summenformel $X_4Z_{16}O_{32}$										
Or	1,7	2,2	1,7	2,1	1,4	1,7	1,7	1,7	5,7	1,1
Ab	49,0	48,2	49,4	57,9	46,3	47,1	47,3	50,0	48,6	28,7
An	49,3	49,4	48,9	40,0	52,3	51,2	51,0	48,3	45,7	70,2

Plagioklas (Fortsetzung)

Probe	84/11	84/12	84/13	84/14	84/15	84/16	84/17	84/18	84/19	84/20	84/21
	Kern →		Rand	Kern →		Rand	Kern →	Rand	Kern →		Rand
SiO_2	57,85	53,24	50,25	54,72	55,57	49,78	53,06	52,23	57,08	51,85	50,20
Al_2O_3	25,19	27,31	30,76	27,56	25,36	30,51	26,86	29,48	27,58	31,34	31,85
FeO	0,54	3,12	2,22	2,23	3,29	1,76	3,18	0,80	0,34	0,74	0,63
CaO	7,86	11,64	14,89	10,60	11,17	15,24	11,30	13,72	9,36	13,38	14,47
Na_2O	6,83	5,32	3,26	5,40	4,90	3,21	4,50	4,22	7,05	4,06	3,57
K_2O	0,60	0,60	0,16	0,46	0,78	0,15	0,58	0,15	0,31	0,13	0,18
Summe	98,97	101,23	101,54	100,97	101,07	100,65	99,48	100,60	101,72	101,50	100,90

Anzahl der Kationen (bezogen auf O=32)

Si (Z)	10,51	9,72	9,14	9,89	10,11	9,13	9,80	9,50	10,13	9,32	9,11
Al (Z)	5,39	5,88	6,59	5,89	5,44	6,58	5,86	6,31	5,77	6,63	6,82
Summe	15,90	15,60	15,73	15,78	15,55	15,71	15,66	15,81	15,90	15,95	15,93
Fe (X)	0,08	0,47	0,34	0,34	0,50	0,28	0,50	0,12	0,05	0,11	0,09
Ca (X)	1,55	2,28	2,90	2,05	2,17	3,00	2,23	2,66	1,79	2,58	2,81
Na (X)	2,40	1,86	1,16	1,89	1,73	1,15	1,62	1,48	2,43	1,43	1,24
K (X)	0,13	0,13	0,04	0,11	0,18	0,04	0,13	0,04	0,06	0,02	0,04
Summe	4,16	4,74	4,44	4,39	4,58	4,47	4,48	4,30	4,33	4,24	4,18

Berechnung der Mol.-% $Or_xAb_xAn_x$ aus der allgemeinen Summenformel $X_4Z_{16}O_{32}$

Or	3,1	2,7	0,9	2,5	3,9	0,9	2,9	0,9	1,4	0,5	1,0
Ab	57,7	39,2	26,1	43,1	37,8	25,7	36,2	34,4	56,1	34,5	29,7
An	39,2	58,1	73,0	54,4	58,3	73,4	60,9	64,7	42,5	65,0	69,3

Probe	106/1	106/2	106/3	107/1	107/2	107/3	107/4	115/1	115/2	115/3	119/1	119/2
	Kern →		Rand					Kern →		Rand	Kern →	Rand
SiO_2	58,66	58,54	59,06	54,15	54,98	54,78	55,63	53,69	55,36	56,66	54,34	54,21
Al_2O_3	25,09	25,04	25,07	28,45	26,87	27,25	27,14	26,97	26,97	26,17	28,13	28,91
FeO	0,16	0,21	0,54	1,51	1,20	1,26	1,21	1,68	1,99	1,95	1,04	0,99
CaO	7,35	7,56	7,59	11,09	10,16	9,77	9,85	10,30	10,12	9,05	10,37	10,23
Na_2O	7,07	6,97	6,90	4,88	5,80	5,67	5,63	5,38	5,53	5,95	4,99	5,23
K_2O	0,50	0,54	0,42	0,45	0,44	0,66	0,50	0,41	0,42	0,47	0,51	0,42
Summe	98,83	98,86	99,58	100,53	99,45	99,39	99,96	98,43	100,39	100,25	99,38	99,99
Anzahl der Kationen (bezogen auf O=32)												
Si (Z)	10,60	10,61	10,62	9,79	10,03	10,00	10,08	9,93	10,04	10,24	9,90	9,82
Al (Z)	5,34	5,33	5,31	6,09	5,78	5,88	5,79	5,88	5,77	5,58	6,05	6,17
Summe	15,94	15,94	15,93	15,88	15,81	15,88	15,87	15,81	15,81	15,82	15,95	15,99
Fe (X)	0,03	0,03	0,08	0,23	0,19	0,20	0,19	0,27	0,30	0,29	0,15	0,15
Ca (X)	1,42	1,47	1,47	2,15	1,98	1,91	1,92	2,04	1,96	1,75	2,03	1,99
Na (X)	2,50	2,46	2,40	1,72	2,04	2,02	1,98	1,93	1,94	2,11	1,77	1,83
K (X)	0,11	0,11	0,09	0,10	0,10	0,15	0,11	0,09	0,09	0,11	0,11	0,09
Summe	4,06	4,07	4,04	4,20	4,31	4,28	4,20	4,33	4,29	4,26	4,06	4,06
Berechnung der Mol.-% $Or_xAb_xAn_x$ aus der allgemeinen Summenformel $X_4Z_{16}O_{32}$												
Or	2,7	2,7	2,2	2,4	2,3	3,5	2,6	2,1	2,1	2,6	2,7	2,2
Ab	61,6	60,4	59,4	40,9	47,3	47,2	47,1	44,6	45,2	49,5	43,6	45,1
An	35,7	36,9	38,4	56,7	50,4	49,3	50,3	53,3	52,7	47,9	53,7	52,7

Probe	119/3	119/4	127/1	127/2	128/1	128/2	128/3	128/4	128/5	128/6	128/7
	Kern →	Rand	Matrix	Kern	Kern →			Rand	Kern →		Rand
SiO_2	56,04	56,40	57,63	54,24	56,14	55,96	57,17	56,59	54,85	56,76	56,81
Al_2O_3	26,05	25,96	25,15	27,17	26,70	26,23	25,42	26,20	27,28	25,46	26,55
FeO	1,28	1,47	2,20	1,92	1,18	0,95	0,93	0,40	1,15	0,98	0,26
CaO	8,68	7,80	8,20	9,90	10,16	8,94	8,59	8,20	8,61	8,10	7,95
Na_2O	6,14	6,30	6,80	5,65	5,16	5,96	6,35	6,41	5,88	6,11	6,36
K_2O	0,67	0,70	0,75	0,56	0,62	0,76	0,77	0,70	0,65	0,77	0,75
Summe	98,86	98,63	100,73	99,44	99,96	98,80	99,23	98,50	98,42	98,18	98,68
Anzahl der Kationen (bezogen auf O=32)											
Si ⌐ Z	10,25	10,32	10,39	9,94	10,16	10,25	10,40	10,33	10,07	10,41	10,32
Al ⌙ Z	5,62	5,60	5,35	5,89	5,70	5,65	5,45	5,64	5,91	5,51	5,70
Summe	15,87	15,92	15,74	15,83	15,86	15,90	15,85	15,97	15,98	15,92	16,02
Fe ⌐	0,20	0,23	0,34	0,29	0,19	0,14	0,14	0,07	0,18	0,15	0,04
Ca X	1,70	1,53	1,59	1,95	2,00	1,75	1,67	1,60	1,69	1,57	1,55
Na X	2,18	2,24	2,38	2,00	1,80	2,11	2,23	2,26	2,10	2,20	2,25
K ⌙	0,15	0,15	0,17	0,13	0,13	0,18	0,17	0,15	0,15	0,18	0,17
Summe	4,23	4,15	4,48	4,37	4,12	4,18	4,21	4,08	4,12	4,10	4,01
Berechnung der Mol.-% $Or_xAb_xAn_x$ aus der allgemeinen Summenformel $X_4Z_{16}O_{32}$											
Or	3,5	3,6	3,8	3,0	3,2	4,3	4,0	3,7	3,6	4,4	4,2
Ab	51,5	54,0	53,1	45,8	43,7	50,5	53,0	55,4	51,0	53,7	56,1
An	45,0	42,4	43,1	51,2	53,1	45,2	43,0	40,9	45,4	41,9	39,7

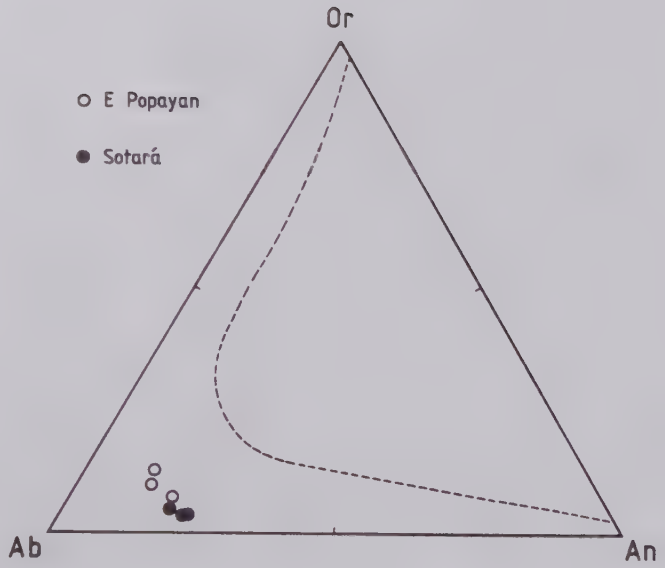


Abb. 61: Darstellung der analysierten Alkalifeldspäte im System $KAlSi_3O_8$ - $NaAlSi_3O_8$ - $CaAl_2Si_2O_8$.

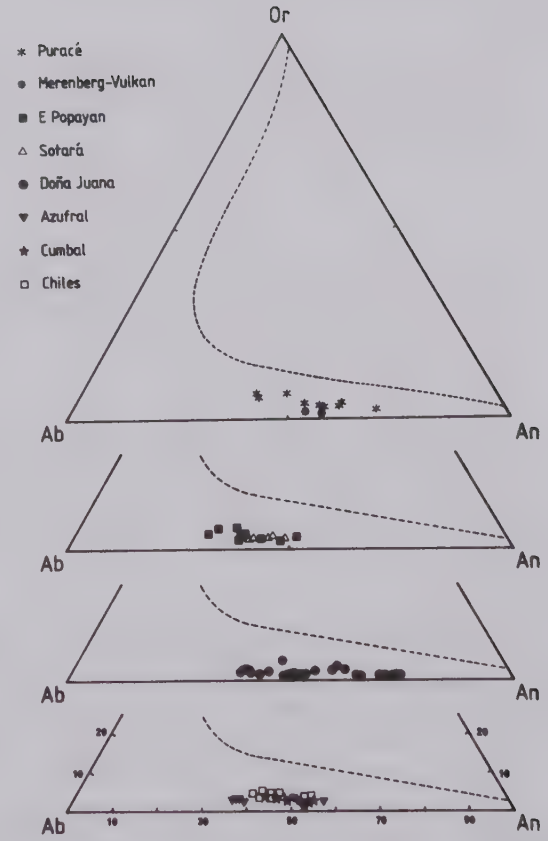


Abb. 62: Darstellung der Plagioklase im System $KAlSi_3O_8$ - $NaAlSi_3O_8$ - $CaAl_2Si_2O_8$.

5.2.1.5 Biotit (allgemeine Summenformel: $X_2Y_{4--6}[(OH,O,F)_4/Z_8O_{20}]$

Probe	47/1	47/2	52/1	52/2	66/1	76/1	76/2
SiO_2	38,39	38,41	38,18	37,72	38,63	36,24	38,45
Al_2O_3	14,06	14,08	14,86	14,82	14,40	14,67	14,92
Fe_2O_3	14,80	13,64	14,68	14,51	12,97	17,63	17,23
FeO	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
MnO	0,53	0,42	0,10	0,09	0,09	0,42	0,25
MgO	14,29	14,76	14,87	15,25	15,74	13,11	13,30
Na_2O	0,74	0,58	0,63	0,76	0,80	0,64	0,82
K_2O	7,98	7,80	8,53	8,02	7,90	8,80	8,50
TiO_2	5,06	3,33	3,86	4,55	4,17	3,16	3,72
G.V.	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Summe	99,88	97,02	99,71	99,72	98,70	98,67	101,19

Anzahl der Kationen (bezogen auf O=24, hydrische Basis)

Si (Z)	5,605	5,731	5,582	5,508	5,659	5,435	5,579
Al (Z)	2,395	2,269	2,418	2,492	2,341	2,565	2,421
Summe	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al (Y)	0,024	0,207	0,143	0,058	0,146	0,027	0,130
Ti (Y)	0,556	0,374	0,424	0,500	0,459	0,356	0,406
Fe^{3+} (Y)	1,626	1,531	1,615	1,594	1,430	1,990	1,881
Fe^{2+} (Y)	0,122	0,125	0,122	0,122	0,123	0,125	0,121
Mn (Y)	0,066	0,053	0,012	0,011	0,011	0,053	0,031
Mg (Y)	3,110	3,283	3,241	3,319	3,437	2,930	2,876
Summe	5,504	5,573	5,557	5,604	5,606	5,481	5,445
Na (X)	0,209	0,168	0,179	0,215	0,227	0,186	0,231
K (X)	1,486	1,485	1,591	1,494	1,476	1,683	1,573
Summe	1,695	1,653	1,770	1,709	1,703	1,869	1,804
OH	2,922	2,986	2,926	2,922	2,932	3,001	2,903
O	1,078	1,014	1,074	1,078	1,068	0,999	1,097

Biotit (Fortsetzung)

Probe	76/3	76/4	106/1	106/2	106/3
SiO_2	38,75	36,43	38,52	38,16	37,25
Al_2O_3	14,54	14,42	15,43	14,96	15,26
Fe_2O_3	15,58	16,34	12,40	12,16	12,25
FeO	1,00	1,00	5,00	5,00	5,00
MnO	0,21	0,22	0,12	0,19	0,16
MgO	14,21	14,28	13,85	14,13	14,30
Na_2O	0,60	0,93	0,72	0,86	0,76
K_2O	7,63	8,31	8,00	7,82	7,96
TiO_2	3,77	3,70	3,30	3,83	3,21
G.V.	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Summe	99,29	98,63	100,34	100,11	99,15

Anzahl der Kationen (bezogen auf O=24, hydrische Basis)

Si (Z)	5,667	5,435	5,637	5,602	5,533
Al (Z)	2,333	2,535	2,363	2,398	2,467
Summe	8,000	7,970	8,000	8,000	8,000
Al (Y)	0,173	-----	0,298	0,190	0,204
Ti (Y)	0,415	0,415	0,363	0,423	0,359
Fe^{3+} (Y)	1,715	1,834	1,365	1,343	1,369
Fe^{2+} (Y)	0,122	0,125	0,612	0,614	0,621
Mn (Y)	0,026	0,028	0,015	0,024	0,020
Mg (Y)	3,098	3,175	3,021	3,092	3,166
Summe	5,549	5,577	5,674	5,713	5,739
Na (X)	0,170	0,269	0,204	0,245	0,219
K (X)	1,423	1,581	1,493	1,464	1,508
Summe	1,593	1,850	1,697	1,709	1,727
OH	2,927	2,985	2,928	2,938	2,972
O	1,073	1,015	1,072	1,062	1,028

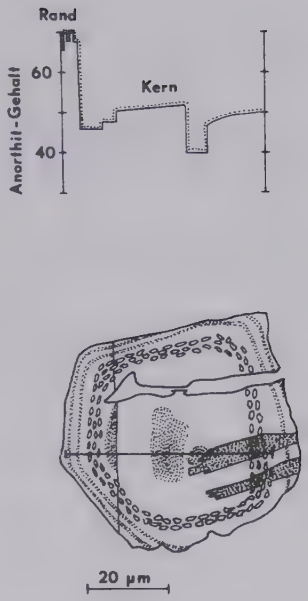
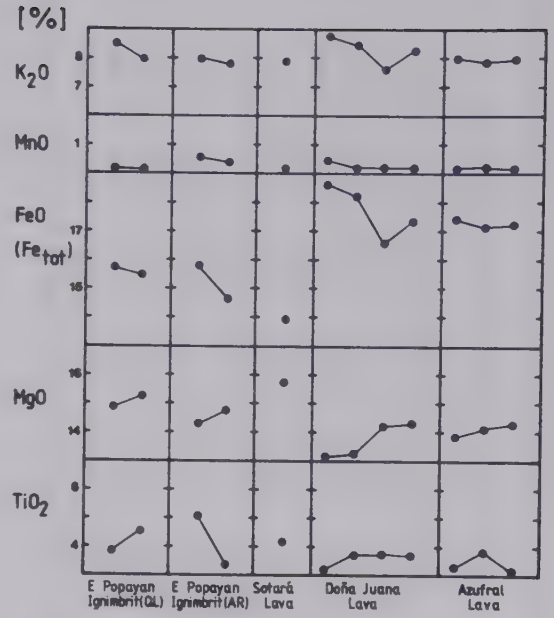


Abb. 63: Variation im Anorthit-Gehalt eines Plagioklases der Probe 84 (84/1 -- 84/10) mit inverser Zonierung.



Proben	52	47	66	76	106

Abb. 64: Verteilung der Hauptelemente in den Biotiten repräsentativer Proben.

5.2.1.6 "Hornblende" (allgemeine Summenformel: $X_{2-3}Y_5[(OH,O,F)_2/Z_8O_{22}]$

Probe	52/1	52/2	52/3	52/4	52/5	52/6	52/7	52/8
SiO_2	46,44	44,49	46,34	46,04	45,57	45,40	47,32	46,52
Al_2O_3	9,76	9,98	9,19	7,73	8,64	10,19	7,83	8,29
Fe_2O_3	13,07	13,44	12,26	11,19	11,30	10,30	11,10	11,35
FeO	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
MnO	0,75	0,28	0,73	0,60	0,30	0,25	0,65	0,22
MgO	11,70	12,32	13,08	13,94	14,05	14,26	14,54	14,62
CaO	10,90	11,35	10,68	11,01	11,23	10,35	10,16	11,17
Na_2O	1,58	1,74	1,54	1,57	1,58	1,72	1,47	1,33
K_2O	0,51	0,91	0,69	0,35	0,44	0,50	0,39	0,43
TiO_2	0,68	1,22	1,17	0,91	1,12	1,58	0,95	1,10
G.V.	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Summe	99,89	100,23	100,18	97,84	98,73	100,05	98,91	99,53

Anzahl der Kationen (bezogen auf O=24, hydrische Basis)

Si (Z)	6,754	6,504	6,719	6,817	6,693	6,566	6,894	6,759
Al (Z)	1,246	1,496	1,281	1,183	1,307	1,434	1,106	1,241
Summe	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al (Y)	0,426	0,224	0,289	0,166	0,189	0,303	0,238	0,179
Ti (Y)	0,074	0,134	0,128	0,101	0,124	0,172	0,104	0,120
Fe^{3+} (Y)	1,430	1,479	1,338	1,247	1,249	1,121	1,217	1,241
Fe^{2+} (Y)	0,365	0,367	0,364	0,371	0,368	0,363	0,366	0,365
Mn (Y)	0,092	0,035	0,090	0,075	0,037	0,031	0,080	0,027
Mg (Y)	2,536	2,685	2,827	3,077	3,076	3,074	3,157	3,166
Summe	4,923	4,924	5,036	5,037	5,043	5,064	5,162	5,098
Ca (X)	1,698	1,778	1,659	1,747	1,767	1,759	1,586	1,739
Na (X)	0,446	0,493	0,433	0,451	0,450	0,482	0,415	0,375
K (X)	0,095	0,170	0,128	0,066	0,082	0,092	0,072	0,080
Summe	2,239	2,441	2,220	2,264	2,299	2,333	2,073	2,194
OH	1,455	1,463	1,451	1,482	1,470	1,447	1,458	1,454
O	0,545	0,537	0,549	0,518	0,530	0,553	0,542	0,546

"Hornblende" (Fortsetzung)

Probe	52/9	52/10	52/11	52/12	57/1	57/2	57/3
SiO_2	46,51	46,70	46,31	46,47	42,36	42,92	40,08
Al_2O_3	8,99	8,57	8,53	11,77	12,49	11,77	14,75
Fe_2O_3	11,11	11,11	10,65	6,06	5,40	4,80	3,80
FeO	3,00	3,00	3,00	3,00	10,80	9,60	7,60
MnO	0,26	0,27	0,24	0,12	0,50	0,39	0,14
MgO	14,63	14,85	14,87	15,67	11,17	12,22	12,64
CaO	10,59	10,75	10,91	11,02	11,21	10,81	10,18
Na_2O	1,51	1,54	1,52	2,47	2,40	2,48	2,68
K_2O	0,43	0,41	0,41	0,59	1,13	0,96	2,06
TiO_2	1,13	1,35	1,06	1,39	1,29	2,26	3,63
G.V.	1,50	1,50	1,50	1,50	2,00	2,00	2,00
Summe	99,66	100,05	99,00	100,04	100,75	100,21	99,56

Anzahl der Kationen (bezogen auf O=24, hydrische Basis)

Si (Z)	6,733	6,741	6,752	6,630	6,250	6,308	5,909
Al (Z)	1,267	1,259	1,248	1,370	1,750	1,692	2,091
Summe	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al (Y)	0,267	0,199	0,217	0,610	0,422	0,346	0,472
Ti (Y)	0,123	0,147	0,116	0,149	0,143	0,250	0,402
Fe^{3+} (Y)	1,210	1,207	1,168	0,651	0,600	0,531	0,422
Fe^{2+} (Y)	0,363	0,362	0,366	0,358	1,333	1,180	0,937
Mn (Y)	0,032	0,033	0,030	0,015	0,062	0,049	0,017
Mg (Y)	3,157	3,195	3,231	3,333	2,456	2,677	2,778
Summe	5,152	5,143	5,128	5,116	5,016	5,033	5,028
Ca (X)	1,643	1,663	1,704	1,685	1,772	1,702	1,608
Na (X)	0,424	0,431	0,430	0,678	0,687	0,707	0,766
K (X)	0,079	0,075	0,076	0,107	0,213	0,180	0,387
Summe	2,146	2,169	2,210	2,470	2,672	2,589	2,761
OH	1,449	1,444	1,459	1,428	1,968	1,961	1,967
O	0,551	0,556	0,541	0,572	0,032	0,039	0,033

"Hornblende" (Fortsetzung)

Probe	57/4	57/5	57/6	57/7	66/1	66/2	76/1
SiO_2	42,41	45,75	42,81	43,91	43,37	46,30	44,87
Al_2O_3	12,61	10,32	12,70	12,13	10,37	8,58	8,84
Fe_2O_3	4,20	3,90	3,00	2,70	10,76	10,65	12,76
FeO	8,40	7,80	6,10	5,50	3,00	3,00	3,00
MnO	0,28	0,25	0,07	0,17	0,20	0,39	0,71
MgO	13,46	15,29	16,12	17,11	14,26	14,72	12,65
CaO	11,16	10,05	10,93	10,97	11,20	11,11	12,08
Na_2O	2,80	2,32	2,44	2,46	1,94	1,33	2,73
K_2O	1,13	0,83	1,37	1,21	0,44	0,41	0,75
TiO_2	2,35	1,35	1,84	1,87	1,86	0,98	1,00
G.V.	2,00	2,00	2,00	2,00	1,50	1,50	1,50
Summe	100,80	99,86	99,38	100,03	98,84	98,97	100,89

Anzahl der Kationen (bezogen auf O=24, hydrische Basis)

Si (Z)	6,177	6,618	6,226	6,312	6,385	6,755	6,554
Al (Z)	1,823	1,382	1,774	1,688	1,615	1,245	1,446
Summe	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al (Y)	0,342	0,377	0,402	0,367	0,175	0,230	0,076
Ti (Y)	0,257	0,147	0,201	0,202	0,206	0,108	0,110
Fe^{3+} (Y)	0,460	0,425	0,328	0,202	1,192	1,169	1,403
Fe^{2+} (Y)	1,023	0,944	0,742	0,661	0,369	0,366	0,366
Mn (Y)	0,035	0,031	0,009	0,021	0,025	0,046	0,088
Mg (Y)	2,922	3,297	3,494	3,666	3,129	3,201	2,754
Summe	5,039	5,221	5,176	5,209	5,096	5,120	4,797
Ca (X)	1,742	1,558	1,703	1,690	1,767	1,737	1,890
Na (X)	0,791	0,651	0,688	0,686	0,554	0,376	0,773
K (X)	0,210	0,153	0,254	0,222	0,083	0,076	0,140
Summe	2,743	2,362	2,645	2,598	2,404	2,189	2,803
OH	1,943	1,930	1,940	1,918	1,473	1,460	1,461
O	0,057	0,070	0,060	0,082	0,527	0,540	0,539

"Hornblende" (Fortsetzung)

Probe	76/2	76/3	76/4	106/1	119/1	119/2	119/3
SiO_2	43,58	47,44	44,53	43,03	43,44	45,43	45,67
Al_2O_3	12,01	8,18	11,69	11,68	11,85	10,57	10,33
Fe_2O_3	8,80	10,14	8,51	8,66	10,24	9,88	9,81
FeO	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
MnO	0,24	0,55	0,20	0,11	0,29	0,25	0,36
MgO	15,20	15,42	15,71	14,76	14,16	14,20	14,89
CaO	11,30	11,07	11,40	11,26	11,75	11,46	10,82
Na_2O	2,33	1,46	2,39	2,18	2,09	2,14	2,10
K_2O	0,43	0,32	0,51	0,32	0,43	0,43	0,41
TiO_2	1,90	1,16	1,93	2,40	1,83	2,05	1,69
G.V.	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Summe	100,29	100,24	101,37	98,90	100,58	100,91	100,58

Anzahl der Kationen (bezogen auf O=24, hydrische Basis)

Si	Z	6,239	6,819	6,354	6,294	6,285	6,517	6,559
Al	Z	1,707	1,181	1,646	1,706	1,715	1,483	1,441
Summe		8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al	Y	0,337	0,205	0,320	0,308	0,305	0,304	0,307
Ti	Y	0,206	0,125	0,207	0,264	0,199	0,221	0,183
Fe^{3+}	Y	0,956	1,097	0,914	0,953	1,115	1,067	1,060
Fe^{2+}	Y	0,362	0,361	0,358	0,367	0,363	0,360	0,360
Mn	Y	0,029	0,067	0,024	0,014	0,036	0,030	0,044
Mg	Y	3,272	3,304	3,341	3,218	3,053	3,036	3,187
Summe		5,162	5,159	5,164	5,124	5,071	5,018	5,141
Ca	X	1,748	1,705	1,743	1,765	1,821	1,761	1,665
Na	X	0,652	0,407	0,661	0,618	0,586	0,595	0,585
K	X	0,079	0,059	0,093	0,060	0,079	0,079	0,075
Summe		2,479	2,171	2,497	2,443	2,486	2,435	2,325
OH		1,445	1,438	1,428	1,464	1,448	1,435	1,437
O		0,555	0,562	0,572	0,536	0,552	0,565	0,563

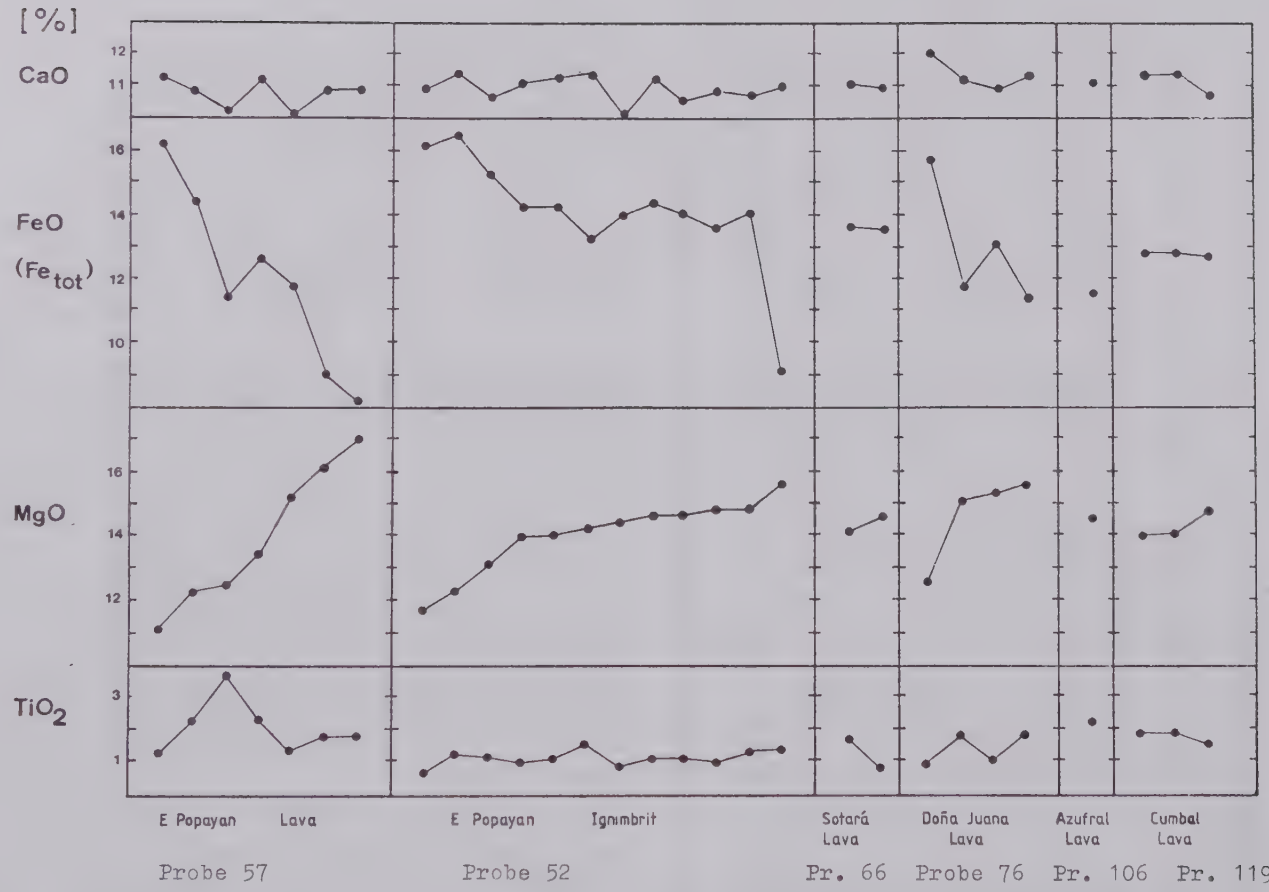


Abb. 65 : Verteilung der Hauptelemente in den "Hornblenden" verschiedener Proben.

5.2.1.7 Pyroxen (allgemeine Summenformel: $W(X,Y)[Z_2O_6]$)

Abkürzungen: A = Augit, B = Bronzit, D = Diopsid,
E = Endiopsid, H = Hypersthen, S = Salit

Probe	12/1	12/2	12/3	12/4	12/5	12/6	15/1	15/2	15/3
	Cpx(A)	Cpx(A)	Cpx(A)	Opx(H)	Opx(H)	Opx(H)	Cpx(A)	Cpx(A)	Cpx(A)
SiO_2	52,76	52,61	53,17	53,66	54,40	54,06	51,68	52,55	52,56
Al_2O_3	1,32	2,23	1,27	0,89	0,68	0,91	1,98	2,03	2,02
Fe_2O_3	1,90	1,90	1,80	1,00	1,00	1,00	2,00	1,90	1,90
FeO	7,60	7,70	7,00	18,39	16,77	18,34	8,00	7,80	7,80
MnO	0,28	0,29	0,32	0,54	0,46	0,57	0,30	0,31	0,25
MgO	15,31	15,50	15,48	24,93	25,66	24,02	14,82	14,70	14,66
CaO	19,68	19,49	20,44	1,12	1,05	1,16	19,76	19,49	18,84
Na_2O	0,45	0,40	0,45	----	0,03	0,11	0,40	0,41	0,47
K_2O	----	----	----	----	----	----	----	----	----
TiO_2	0,29	0,51	0,27	0,25	0,21	0,16	0,46	0,39	0,34
Cr_2O_3	0,01	0,03	0,01	----	----	0,01	0,01	----	----
Summe	99,60	100,66	100,21	100,78	100,26	100,34	99,41	99,58	98,84

Anzahl der Kationen (bezogen auf O=6)

Si (Z)	1,962	1,935	1,962	1,956	1,975	1,977	1,933	1,954	1,964
Al (Z)	0,038	0,065	0,038	0,038	0,025	0,023	0,067	0,046	0,036
Summe	2,000	2,000	2,000	1,994	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Al (Y)	0,019	0,031	0,018	-----	0,004	0,016	0,020	0,043	0,053
Ti (Y)	0,008	0,014	0,007	0,007	0,006	0,004	0,013	0,011	0,010
Cr (Y)	Sp.	0,001	Sp.	-----	-----	Sp.	Sp.	-----	-----
Fe^{3+} (Y)	0,053	0,053	0,050	0,027	0,027	0,028	0,056	0,053	0,053
Mg (X)	0,848	0,850	0,852	1,355	1,389	1,309	0,826	0,815	0,816
Fe^{2+} (X)	0,236	0,237	0,216	0,561	0,509	0,561	0,250	0,243	0,244
Mn (X)	0,009	0,009	0,010	0,017	0,014	0,018	0,010	0,010	0,008
Ca (W)	0,784	0,768	0,808	0,044	0,041	0,045	0,792	0,776	0,754
Na (W)	0,032	0,029	0,032	-----	0,002	0,008	0,029	0,030	0,034
K (W)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Summe	1,989	1,992	1,993	2,011	1,992	1,989	1,996	1,981	1,972

Mg	43,95	44,34	43,99	67,63	70,13	66,77	42,72	42,96	43,53
ΣFe	15,45	15,58	14,26	30,19	27,81	30,91	16,34	16,11	16,26
Ca	40,60	40,08	41,75	2,18	2,06	2,32	40,94	40,94	40,21

Pyroxen (Fortsetzung)

Probe	15/4 Opx(H)	15/5 Opx(H)	15/6 Opx(H)	15/7 Opx(H)	33/1 Cpx(D)	33/2 Cpx(D)	33/3 Cpx(E)	33/4 Cpx(E)	33/5 Cpx(E)
SiO_2	53,28	53,09	52,99	53,43	54,22	51,99	51,83	52,25	52,03
Al_2O_3	1,09	0,91	0,95	0,92	1,56	2,73	1,55	1,56	1,65
Fe_2O_3	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	1,10	1,00	1,10	1,00
FeO	17,76	17,93	19,38	17,51	3,62	4,60	3,82	4,46	4,24
MnO	0,44	0,42	0,54	0,56	0,08	0,11	0,13	0,10	0,06
MgO	25,39	25,11	23,82	25,61	17,15	16,29	17,10	16,93	16,79
CaO	1,41	1,41	1,27	1,22	22,43	22,33	22,07	21,26	22,08
Na_2O	----	0,09	0,07	0,03	0,26	0,37	0,80	0,22	0,21
K_2O	----	----	----	----	----	----	----	----	----
TiO_2	0,20	0,12	0,27	0,15	0,33	0,63	0,40	0,52	0,47
Cr_2O_3	0,01	0,02	----	----	0,18	0,06	0,16	0,12	0,09
Summe	100,58	100,10	100,29	100,43	100,73	100,21	98,86	98,52	98,62

Anzahl der Kationen (bezogen auf O=6)

Si (Z)	1,943	1,948	1,953	1,949	1,961	1,907	1,925	1,942	1,934
Al (Z)	0,047	0,039	0,041	0,040	0,039	0,093	0,068	0,058	0,066
Summe	1,990	1,987	1,994	1,989	2,000	2,000	1,993	2,000	2,000
Al (Y)	-----	-----	-----	-----	0,028	0,025	-----	0,010	0,006
Ti (Y)	0,005	0,003	0,007	0,004	0,009	0,017	0,011	0,015	0,013
Cr (Y)	Sp.	0,001	-----	-----	0,005	0,002	0,005	0,004	0,003
Fe^{3+} (Y)	0,027	0,028	0,028	0,027	0,024	0,030	0,028	0,031	0,028
Mg (X)	1,380	1,374	1,309	1,393	0,925	0,891	0,947	0,938	0,930
Fe^{2+} (X)	0,542	0,550	0,597	0,534	0,110	0,141	0,119	0,139	0,132
Mn (X)	0,014	0,013	0,017	0,017	0,002	0,003	0,004	0,003	0,002
Ca (W)	0,055	0,055	0,050	0,048	0,869	0,878	0,878	0,846	0,879
Na (W)	-----	0,006	0,005	0,002	0,018	0,026	0,058	0,016	0,015
K (W)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Summe	2,023	2,030	2,013	2,025	1,990	2,013	2,050	2,002	2,008
Mg	68,39	68,00	65,41	68,97	47,90	45,84	47,92	47,92	47,19
Σ Fe	28,88	29,26	32,09	28,67	7,07	9,00	7,63	8,82	8,20
Ca	2,73	2,74	2,51	2,36	45,03	45,16	44,45	43,26	44,61

Pyroxen (Fortsetzung)

Probe	33/6 Cpx(S)	33/7 Cpx(A)	66/1 Cpx(A)	66/2 Cpx(A)	66/3 Opx(H)	66/4 Opx(H)	66/5 Opx(H)	76/1 Cpx(E)	76/2 Cpx(E)
SiO_2	50,03	41,04	49,96	49,26	52,40	53,90	53,35	54,77	53,44
Al_2O_3	3,94	1,03	7,62	7,95	1,85	1,61	1,12	1,22	1,58
Fe_2O_3	1,30	2,00	2,60	2,60	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80
FeO	5,00	7,83	10,50	10,60	20,37	20,31	20,17	3,27	3,48
MnO	0,07	0,24	0,38	0,44	0,80	0,75	0,60	0,15	0,15
MgO	15,10	15,09	14,95	15,07	22,93	22,79	23,05	16,90	16,33
CaO	21,58	19,49	10,72	10,73	0,44	0,36	0,96	21,65	21,94
Na_2O	0,37	0,43	1,27	1,36	0,02	0,05	0,04	0,20	0,20
K_2O	----	----	----	----	----	----	----	0,09	0,05
TiO_2	0,94	0,87	1,10	1,06	0,06	0,05	0,11	0,09	0,16
Cr_2O_3	0,18	0,03	0,02	----	----	0,02	0,01	0,33	0,42
Summe	98,51	98,05	99,12	99,07	99,87	100,84	100,40	99,67	98,55

Anzahl der Kationen (bezogen auf O=6)

Si	1,872	1,938	1,849	1,829	1,945	1,973	1,967	1,998	1,973
Al (Z)	0,128	0,046	0,151	0,171	0,055	0,027	0,033	0,002	0,027
Summe	2,000	1,984	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Al	0,046	-----	0,182	0,177	0,026	0,043	0,015	0,020	0,044
Ti (Y)	0,026	0,025	0,031	0,030	0,002	0,001	0,003	0,002	0,004
Cr	0,005	0,001	0,001	-----	-----	0,001	Sp.	0,010	0,012
Fe^{3+}	0,037	0,057	0,072	0,073	0,028	0,028	0,028	0,022	0,022
Mg	0,842	0,854	0,825	0,834	1,268	1,244	1,266	0,918	0,898
Fe^{2+} (X)	0,156	0,249	0,325	0,329	0,632	0,622	0,622	0,101	0,109
Mn	0,002	0,008	0,012	0,014	0,025	0,023	0,019	0,002	0,004
Ca	0,865	0,793	0,425	0,427	0,017	0,014	0,038	0,843	0,867
Na (W)	0,027	0,032	0,091	0,098	0,001	0,004	0,003	0,013	0,013
K	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0,004	0,004
Summe	2,006	2,019	1,965	1,982	1,999	1,980	1,994	1,935	1,977

Mg	44,26	43,56	49,71	49,75	64,35	64,42	64,20	49,30	47,90
ΣFe	10,26	15,99	24,67	24,79	34,77	34,84	33,88	5,40	5,80
Ca	45,47	40,44	25,62	25,46	0,89	0,73	1,92	45,30	46,30

Pyroxen (Fortsetzung)

Probe	76/3 Cpx(E)	84/1 Opx(B)	84/2 Opx(B)	84/3 Opx(B)	107/1 Cpx(S)	107/2 Cpx(S)	107/3 Opx(H)	107/4 Opx(H)	115/1 Cpx(A)
SiO_2	53,28	53,28	55,26	54,40	51,80	52,62	53,29	53,38	51,98
Al_2O_3	1,65	1,99	2,29	2,23	3,06	1,33	0,96	0,93	2,24
Fe_2O_3	0,90	1,00	1,00	1,00	1,50	1,80	1,00	1,00	2,58
FeO	3,64	13,52	13,80	11,50	6,19	7,17	18,49	20,44	10,32
MnO	0,14	0,39	0,38	0,18	0,14	0,24	0,33	0,52	0,22
MgO	16,02	26,45	25,38	29,50	14,30	13,91	22,86	22,06	13,22
CaO	21,49	1,52	1,30	1,40	20,69	21,62	1,18	1,20	17,34
Na_2O	0,25	0,06	0,05	0,02	0,51	0,60	0,61	0,14	0,54
K_2O	----	----	0,03	----	----	----	----	0,06	----
TiO_2	0,24	0,22	0,32	0,23	0,42	0,15	0,07	0,20	0,53
Cr_2O_3	0,42	0,02	----	0,04	0,39	0,04	0,04	0,02	0,02
Summe	98,03	98,45	99,81	100,50	99,00	99,48	98,83	99,95	98,99

Anzahl der Kationen (bezogen auf O=6)

Si	1,975	1,945	1,982	1,926	1,931	1,967	1,982	1,982	1,960
Al (Z)	0,025	0,055	0,018	0,074	0,069	0,033	0,018	0,018	0,040
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Al	0,051	0,033	0,081	0,020	0,065	0,025	0,027	0,022	0,026
Ti	0,007	0,006	0,009	0,006	0,011	0,004	0,002	0,007	0,016
Cr (Y)	0,013	0,001	-----	0,001	0,012	0,001	0,001	0,006	0,001
Fe^{3+}	0,027	0,026	0,026	0,027	0,040	0,049	0,027	0,027	0,110
Mg	0,884	1,438	1,358	1,554	0,795	0,775	1,267	1,219	0,740
Fe^{2+}	0,114	0,412	0,408	0,340	0,193	0,225	0,577	0,633	0,320
Mn (X)	0,005	0,013	0,013	0,005	0,005	0,007	0,009	0,016	0,007
Ca	0,853	0,059	0,050	0,053	0,826	0,865	0,047	0,047	0,699
Na (W)	0,018	0,004	0,004	0,001	0,036	0,045	0,045	0,009	0,040
K	-----	-----	0,002	-----	-----	-----	-----	0,004	-----
Summe	1,972	1,992	1,951	2,007	1,983	1,996	2,002	1,990	2,193

Mg	47,80	75,30	74,80	78,50	43,80	41,60	67,00	64,20	42,10
ΣFe	6,10	21,60	22,40	18,80	10,70	12,00	30,50	33,30	18,20
Ca	46,10	3,10	2,80	2,70	45,50	46,40	2,50	2,50	39,70

Pyroxen (Fortsetzung)

Probe	115/2	115/3	119/1	119/2	119/3	119/4	119/5	128/1	128/2
	Cpx(A)	Cpx(A)	Opx(H)	Opx(H)	Opx(H)	Opx(B)	Opx(H)	Cpx(A)	Opx(H)
SiO_2	51,96	51,84	53,86	53,62	53,02	54,42	52,69	51,88	53,33
Al_2O_3	2,23	2,12	0,33	0,69	1,08	2,25	1,61	1,35	0,63
Fe_2O_3	2,40	2,30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,80	1,00
FeO	9,60	9,16	20,66	18,72	19,27	11,49	19,79	7,10	19,78
MnO	0,23	0,19	0,62	0,43	0,44	0,18	0,41	0,23	0,57
MgO	12,96	13,48	23,21	24,51	24,32	29,47	24,00	15,01	23,68
CaO	19,08	18,98	0,70	0,90	0,89	1,41	1,14	22,57	0,85
Na_2O	0,66	0,52	0,04	0,01	0,01	0,01	0,05	0,36	0,01
K_2O	0,07	0,03	----	----	----	----	----	----	----
TiO_2	0,54	0,48	0,11	0,09	0,15	0,23	0,13	0,26	0,15
Cr_2O_3	0,04	0,10	0,03	----	----	0,04	0,04	0,01	----
Summe	99,77	99,20	100,56	99,97	100,18	100,50	100,77	100,57	100,00

Anzahl der Kationen (bezogen auf O=6)

Si (Z)	1,930	1,950	1,985	1,971	1,952	1,926	1,934	1,926	1,971
Al (Z)	0,070	0,050	0,014	0,029	0,047	0,074	0,066	0,059	0,027
Summe	2,000	2,000	1,999	2,000	1,999	2,000	2,000	1,985	1,998
Al (Y)	0,030	0,045	-----	0,001	-----	0,020	0,004	-----	-----
Ti (Y)	0,016	0,014	0,003	0,002	0,004	0,006	0,004	0,007	0,004
Cr (Y)	0,001	0,003	0,001	-----	-----	0,001	0,001	Sp.	-----
Fe^{3+} (Y)	0,070	0,063	0,028	0,028	0,028	0,027	0,028	0,050	0,028
Mg (X)	0,720	0,756	1,275	1,343	1,334	1,554	1,313	0,831	1,304
Fe^{2+} (X)	0,300	0,289	0,637	0,575	0,593	0,340	0,605	0,220	0,611
Mn (X)	0,007	0,007	0,019	0,013	0,014	0,005	0,013	0,007	0,018
Ca (W)	0,760	0,765	0,028	0,035	0,035	0,053	0,045	0,898	0,034
Na (W)	0,120	0,036	0,003	0,001	0,001	0,001	0,004	0,026	0,001
K (W)	0,002	0,001	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Summe	2,026	1,979	1,944	1,998	2,009	2,007	2,017	2,039	2,000

Mg	40,50	41,80	64,18	67,32	66,58	78,51	65,56	41,40	65,38
Σ Fe	16,80	15,90	34,43	30,91	31,67	18,79	32,21	13,85	32,93
Ca	42,70	42,30	1,39	1,78	1,75	2,70	2,24	44,75	1,69

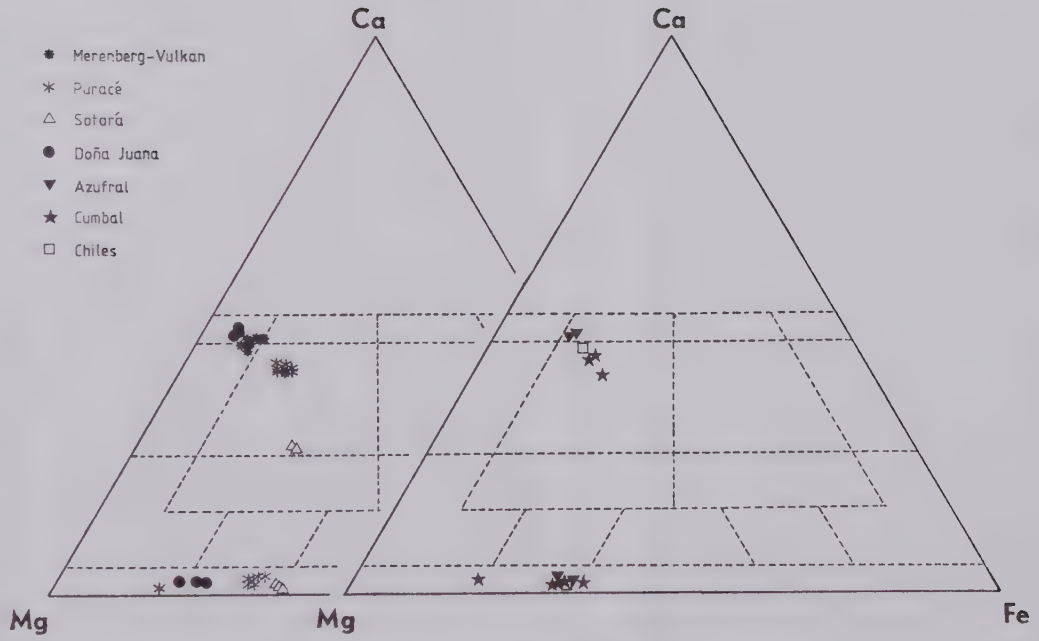


Abb. 66: Darstellung der Ortho- und Klinopyroxene im System $CaMgSi_2O_6$ - $Mg_2Si_2O_6$ - $Fe_2Si_2O_6$ nach POLDERVAART & HESS (1951:474).

5.2.1.8 Olivin (allgemeine Summenformel: X_2YO_4)

Probe	15/1	33/1	33/2	33/3	33/4	76/1	76/2
SiO_2	39,83	38,32	38,33	39,75	39,89	40,06	40,65
Al_2O_3	0,03	0,04	0,01	----	0,01	0,01	----
FeO	17,39	18,83	20,25	14,67	15,62	16,49	16,43
MnO	0,34	0,23	0,20	0,14	0,17	0,19	0,26
MgO	43,28	41,84	41,21	44,83	43,41	41,73	41,66
CaO	0,09	----	0,03	0,07	----	0,01	0,03
Na_2O	0,01	0,11	0,05	0,01	0,04	----	----
K_2O	----	----	----	----	----	0,06	----
TiO_2	0,05	0,04	----	----	----	0,02	0,03
Cr_2O_3	----	0,01	----	0,03	0,01	0,02	0,03
Summe	100,99	99,42	100,17	99,50	99,15	98,58	99,09

Anzahl der Kationen (bezogen auf 0=4)

Si Y	1,000	0,990	0,990	1,000	1,010	1,030	1,030
Mg	1,620	1,610	1,580	1,680	1,640	1,590	1,580
Fe	0,370	0,410	0,440	0,310	0,330	0,350	0,350
Mn	0,008	0,005	0,005	0,004	0,005	0,005	0,007
Ca	0,004	-----	0,002	0,003	-----	-----	0,002
Cr X	-----	0,001	-----	0,001	0,001	0,001	0,001
Na	0,001	0,010	0,005	0,001	0,005	-----	-----
K	-----	-----	-----	-----	-----	0,002	-----
Ti	0,002	0,001	-----	-----	-----	0,001	0,001
Al	0,002	0,002	Sp.	-----	Sp.	Sp.	-----
Summe	2,007	2,039	2,032	1,995	1,981	1,949	1,941
Fa	18,6	20,3	21,8	15,6	16,8	18,0	18,1
Fo	81,4	79,7	78,2	84,4	83,2	82,0	81,9

Olivin (Fortsetzung)

Probe	115/1	115/2	128/1	128/2	128/3	128/4
SiO_2	39,32	40,26	39,68	39,55	39,10	40,67
Al_2O_3	0,05	0,04	----	----	0,05	0,01
FeO	12,92	15,36	13,38	14,31	12,97	14,36
MnO	0,18	0,18	0,13	0,18	0,11	0,19
MgO	45,26	42,98	47,19	45,34	46,10	45,10
CaO	0,14	0,08	0,08	0,14	0,03	0,05
Na_2O	0,04	0,02	----	0,02	0,02	0,01
K_2O	0,02	0,02	----	----	----	----
TiO_2	----	0,04	----	----	0,02	0,02
Cr_2O_3	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	0,01
Summe	97,95	99,01	100,50	99,56	98,42	100,42

Anzahl der Kationen (bezogen auf O=4)

Si Y	1,000	1,020	0,990	1,000	0,990	1,010
Mg	1,710	1,620	1,750	1,700	1,740	1,670
Fe	0,280	0,330	0,280	0,300	0,280	0,300
Mn	0,005	0,004	0,003	0,004	0,003	0,004
Ca	0,005	0,003	0,003	0,006	0,003	0,003
Cr X	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	Sp.
Na	0,003	0,003	-----	0,003	0,003	Sp.
K	0,001	0,001	-----	-----	-----	-----
Ti	-----	0,001	-----	-----	0,001	0,001
Al	0,002	0,002	-----	-----	0,001	Sp.
Summe	2,007	1,962	2,037	2,014	2,032	1,978
Fa	14,1	16,9	13,8	15,0	13,9	15,2
Fo	85,9	83,1	86,2	85,0	86,1	84,8

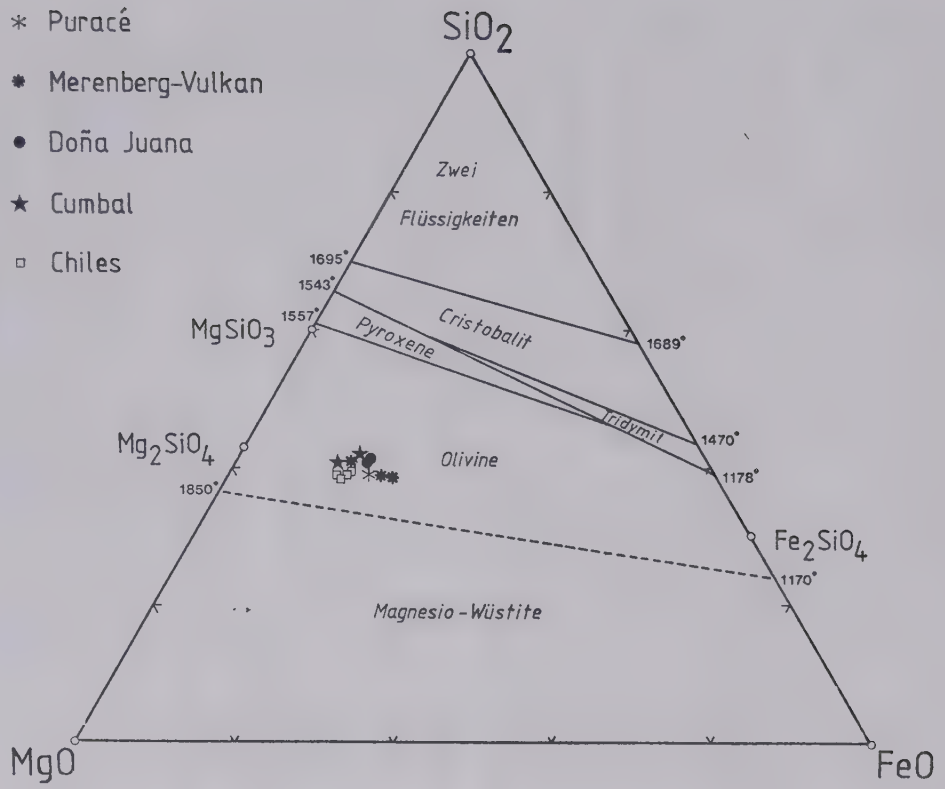


Abb. 67: Gleichgewichts-Diagramm des Systems MgO - FeO - SiO_2 nach BOWEN & SCHAIRER (1935:197).

5.2.1.9 Ergebnisse der Mineral-Analysen

Von den wichtigsten gesteinsbildenden Mineralen der einzelnen Vulkanit-Typen wurden Mikrosonden-Analysen angefertigt (Kap. 5.2).

Abb. 63 zeigt den stark schwankenden Anorthit-Gehalt eines Plagioklases des Doña Juana-Vulkankomplexes; auffallend ist eine inverse Zonierung. Der Kern zeigt einen Anorthit-Gehalt von 52, der gleichmäßig zum Rand hin abnimmt (normale Zonierung), teilweise zeigt dieser Bereich (An_{48}) deutliche Spuren von Resorption. Charakteristisch ist der folgende abrupte Anstieg des Anorthit-Gehaltes auf 72.

EWART (1963:421) beschreibt ähnliche Kurven von Plagioklasen des Taupo-Vulkangebietes in Neuseeland. Er leitet aus dem willkürlichen Wechsel zwischen hohen und niedrigen An-Gehalten verschiedene Eruptionsphasen des Förderzentrums ab. Dabei spiegeln die abrupt ansteigenden An-Gehalte große Druckunterschiede in der Schmelze wider.

Die Anorthit-Gehalte der Plagioklase der einzelnen süd-kolumbischen Vulkane liegen zwischen:

Puracé:	An_{40--69}	Merenberg-Vulkan:	An_{53--57}
E Popayan:	An_{30--50}	Sotará:	An_{40--47}
Doña Juana:	An_{37--73}	Azufral:	An_{35--57}
Cumbal:	An_{40--54}	Chiles:	An_{40--53}

Die "Anorthoklase" der Alkalifeldspat-Rhyolithe haben folgende Zusammensetzung:

E Popayan: Or_{7--12} Ab_{74--77} An_{12--18}

Sotará: Or_{3--4} Ab_{75--77} An_{19--23}

Die Zusammensetzung der Klino- und der Orthopyroxene ist aus Abb. 66 ersichtlich. Lediglich beim Doña Juana-Vulkankomplex ist eine Entwicklung innerhalb der Pyroxene festzustellen.

Die Fayalit-Gehalte der analysierten Olivine betragen:

Puracé:	Fa_{18--20}	Merenberg-Vulkan:	Fa_{16--22}
Doña Juana:	Fa_{18--20}	Cumbal:	Fa_{14--17}
Chiles:	Fa_{14--15}		

5.2.2 Röntgenographische Untersuchung der "Sphärolithe" der Alkalifeldspat-Rhyolithe

Die folgende Tab. 9 enthält annähernd die gleichen Resultate, wie PATZAK (1956:106) sie von Sphärolithen in Obsidianen und künstlichen Gläsern publizierte. Doch bei der Auswertung der Röntgendaten komme ich nicht auf Tief-Cristobalit und Sanidin, sondern auf Tief-Cristobalit und Analbit (Hoch-Albit).

2 ϑ	d	I/I_o	Analbit hkl	Tief-Cristobalit hkl
13,75	6,43	20	$\bar{1}10$, 020	---
15,30	5,7909	5	$\bar{1}\bar{1}1$	---
22,1	4,0220	100^{+}	$\bar{2}01$	101
23,0	3,8667	20	$1\bar{1}1$	---
23,8	3,7385	40	$\bar{1}30$, 111	---
27,7	3,2203	50^{++}	$\bar{2}20$, 040	---
27,9	3,2090	45^{++}	$\bar{2}20$, 040	---
28,2	3,1754	30	002	---
28,5	3,1318	20^{+}	220	111
30,3	2,9497	10	$0\bar{4}1$	---
31,5	2,8400	5	---	102
36,1	2,4880	10	---	200
37,3	2,4106	2	$\bar{3}10$	---
42,0	2,1511	5	060	---
48,2	1,8733	2^{+}	$\bar{2}60$, 222	212

$^{+}$ Linienkoinzidenz
$^{++}$Peak-Aufspaltung

Tab. 9 : Auswertung von Zählrohrgoniometer-Aufnahmen an Sphärolithen der Probe 44 mit $Cu_{K\alpha_1}$-Strahlung

6. Diagrammatische Darstellung und Auswertung der Daten

6.1 Verteilung der chemischen Elemente im Vergleich der einzelnen Vulkane und Vulkangebiete

Bei der Verteilung der chemischen Elemente der einzelnen Vulkane bzw. Vulkangebiete werden nur die von mir bearbeiteten Gesteine berücksichtigt. Von verschiedenen Vulkanen existieren bereits wenige Analysen. Diese werden von folgenden Autoren aufgeführt:

Puracé: KURODA & PARIS (1978:25); MURCIA & MARIN (1980:27)
Doña Juana: MURCIA & MARIN (1980:26)
Azufral: KÜCH (1892:78 f); MURCIA & MARIN (1980:26)
Cumbal: KÜCH (1892:79); MURCIA & MARIN (1980:26)
Chiles: KÜCH (1892:79)

6.1.1 Haupt- und Nebenelemente

Die Abbildungen 69 bis 98 geben einen allgemeinen Überblick über die Verteilung der Haupt- und Nebenelemente innerhalb der einzelnen Vulkane bzw. Vulkangebiete. Vergleicht man Abb. 69 und 70 miteinander, so fällt auf, daß sich in Abb. 70 mögliche Differentiations-Trends viel deutlicher herausheben als im normalen HARKER-Diagramm (Abb. 69). Betrachtet man die Vulkanite der Sierra Nevada de Coconucos (Puracé, Coconucos und Pan de Azúcar), so zeigen diese nur geringe Unterschiede (schwache Differentiation). Die Vulkanite der Doña Juana variieren sehr stark in ihrer Zusammensetzung, was für eine starke Differentiation spricht. Die Vulkanite des Vulkans Sotará sind in sich sehr inhomogen. Es treten zwei verschiedene Magmentypen auf: a) Alkalifeldspat-Rhyolithe und b) Quarz-Latiandesite bis Dacite. Übergänge zwischen beiden Typen fehlen. Das Vulkangebiet östlich Popayan besitzt ebenfalls sehr uneinheitlichen Charakter: a) alkalirhyolithische und quarz-latiandesitische Ignimbrite und b) quarz-latiandesitische Laven. Die Vulkanite der West-Kordillere verhalten sich sehr unterschiedlich: der Azufral und der Chiles zeigen einen ausgeprägten Differentiations-Trend, wohingegen der Cumbal keine Differenzierung aufweist.
Die Darstellung im Sippendiagramm (Abb. 72) zeigt, daß alle jungen Vulkanite mit Ausnahme der basischen Gesteine des Isnos-Acevedo-

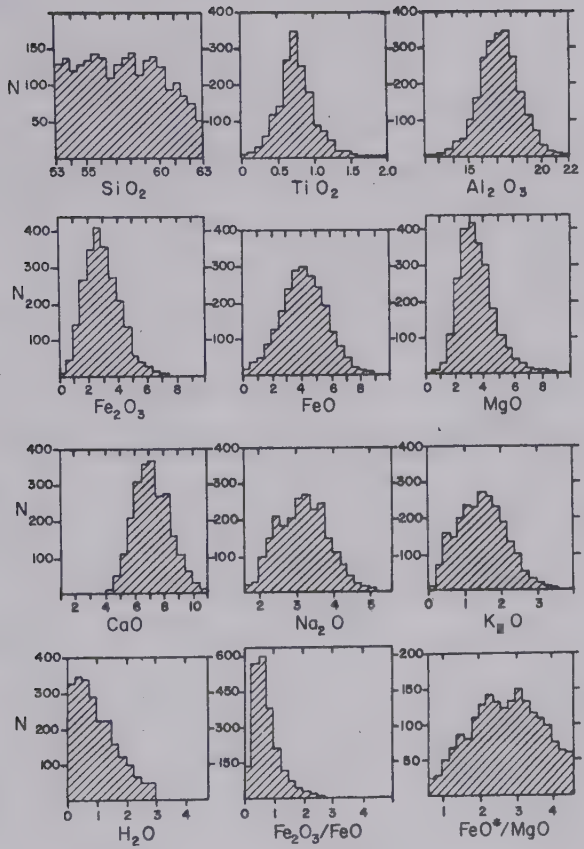


Abb. 68: Verteilung der Hauptelemente in 2500 orogenen Andesiten zur Klärung der Zusammensetzung typischer kalk-alkaliner Andesite (GILL, 1981:4).

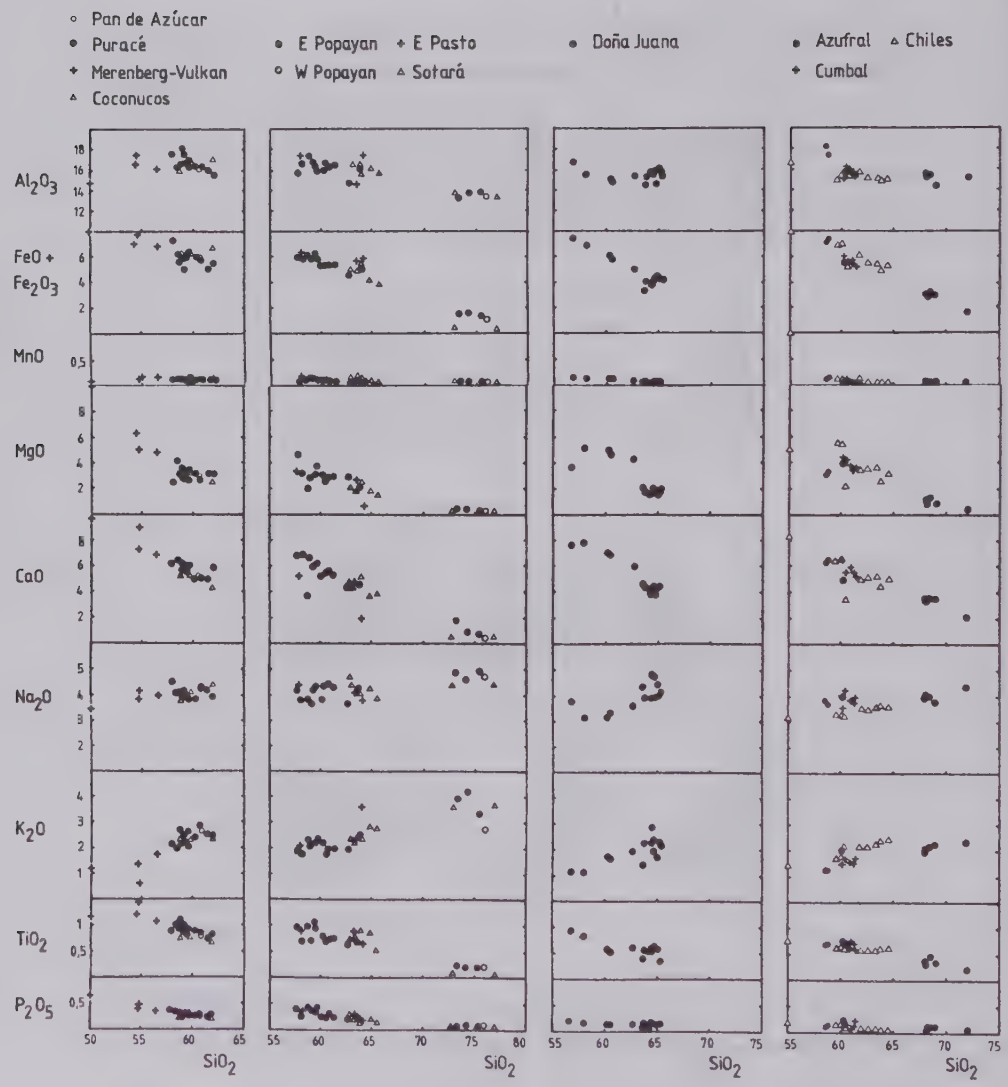


Abb. 69: Verteilung der Hauptelemente gegen SiO_2.

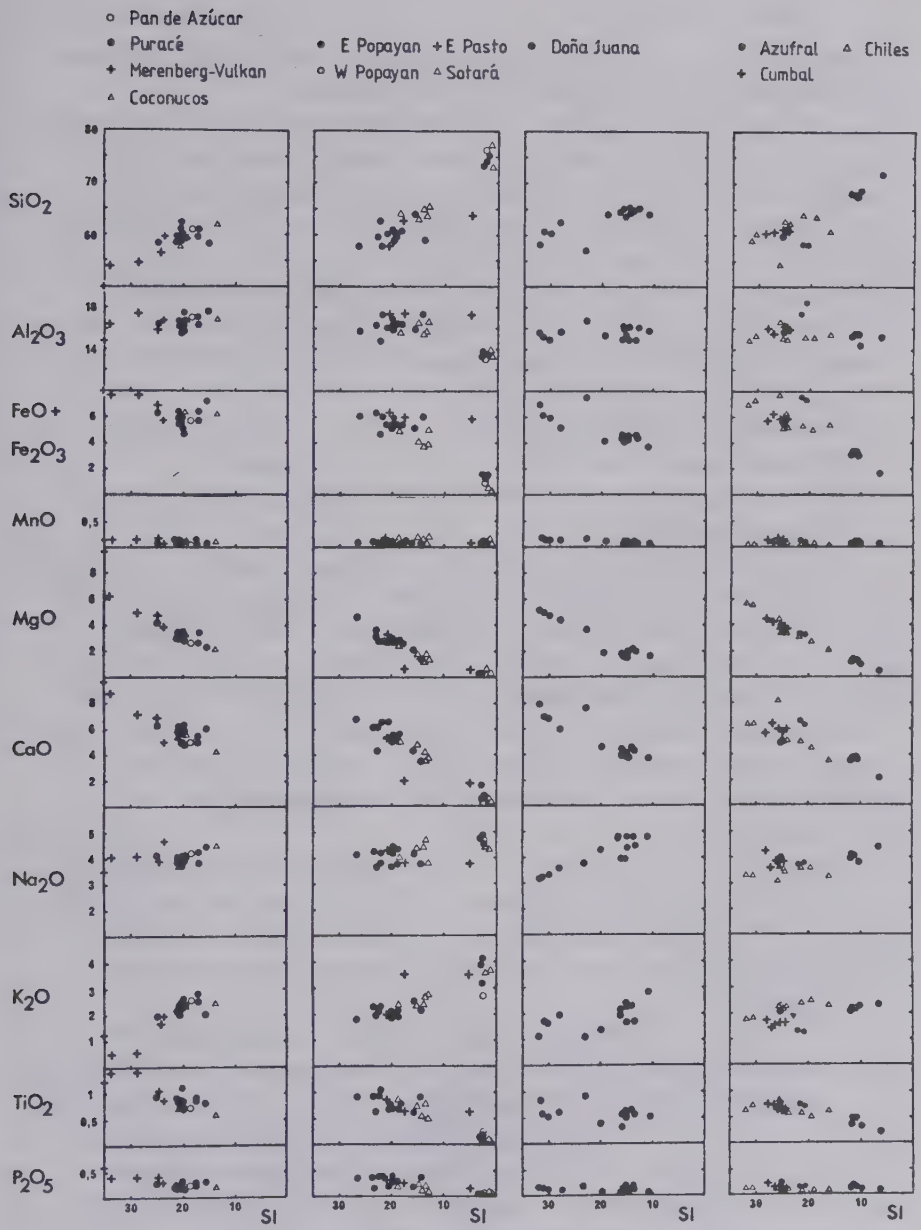


Abb. 70: Verteilung der Hauptelemente gegen SI
(SI = MgO x 100 / MgO + FeO + Fe_2O_3 + Na_2O + K_2O).

Vulkangebietes und dem Alkaliolivinbasalt des Merenberg-Vulkans der Kalkalkali-Reihe (stark--mittel) angehören.
Betrachtet man das Diagramm nach PECCERILLO & TAYLOR (1976:66) (Abb. 73--74), so fallen die meisten jungen Vulkanite in den Bereich der "Andesite" und "Dacite". Die unterkieselten Isnos-Acevedo-"Basalte" fallen in einen Bereich, der von PECCERILLO & TAYLOR (1976:66) nicht berücksichtigt ist. Das Diagramm veranschaulicht sehr gut, daß es sich bei den süd-kolumbischen Vulkaniten auf keinen Fall um "Inselbogen-Andesite" oder gar um die extrem K-reiche Shoshonit-Serie handelt, sondern daß hier drei verschiedene Typen vorliegen:

1. die Kontinentalrand-"Andesite"
2. die Alkalirhyolithe
3. die unterkieselten Gesteine, die eigentlich nicht in dieses Diagramm gehören.

Eine lineare Abnahme an CaO und eine lineare Zunahme an Alkalien zeigt die Abb. 84. Sie weist auch darauf hin, daß in sämtlichen Gesteinen eine deutliche Na_2O-Vormacht vor dem K_2O herrscht.

Das Diagramm von Yoder (1969:79)(Abb. 75) läßt sich weder auf die jungen kalkalkalinen noch auf die alkalinen Vulkanite Süd-Kolumbiens anwenden. Danach fällt nämlich ein Teil der "Kontinentalrand"-Vulkanite in den Bereich der Inselbögen und die alkalinen Gesteine in den Bereich der Inselbögen bzw. der tholeiitischen Serie.
Die Abb. 76 zeigt insgesamt eine lineare Abnahme des TiO_2-Gehaltes mit steigendem SiO_2 (56--70 Gew.-%). Über 70 Gew.-% SiO_2 bleibt der TiO_2-Wert nahezu konstant, unter 55 % steigt er potentiell an und erreicht bei 40,19 Gew.-% SiO_2 seinen höchsten Anteil mit 2,46 Gew.-%.

Im GOTTINI-RITTMANN-Diagramm (1973:11)(Abb. 77) erfüllen die meisten jungen Vulkanite Süd-Kolumbiens die Forderung von RITTMANN (1981:156, $\tau > 9$ und $\sigma \leqq 4$ (Tab. 5)) für orogene Vulkanite (Feld B). Bei den Ausnahmen mit $\tau < 9$ handelt es sich um die alkalinen Laven des Isnos-Acevedo-Vulkangebietes und des Merenberg-Vulkans (Feld A = Laven nicht orogener Gebiete, Feld C = alkaline Derivate der Bereiche A und B).

*	Puracé: Laven	▲	Sotará: Laven
+	Ignimbrite	△	Bimssteine
		▲	Obsidiane
✱	Pan de Azúcar: Laven		
		●	Doña Juana: Laven
✱	Coconucos: Laven	○	Ignimbrite
		◎	Bimssteine
✱	Merenberg-Vulkan: Laven	◒	Extrusionsbreccie
●	Isnos-Acevedo-„Basalte"	◆	E Pasto: Laven
■	E Popayan: Laven	▼	Azufral: Laven
□	Ignimbrite	▽	Bimssteine
▣	Bimssteine		
◒	Tuffe	★	Cumbal: Laven
◪	W Popayan: Ignimbrite	☆	Chiles: Laven

Abb. 71: Aufschlüsselung der in den Diagrammen verwendeten Zeichen.

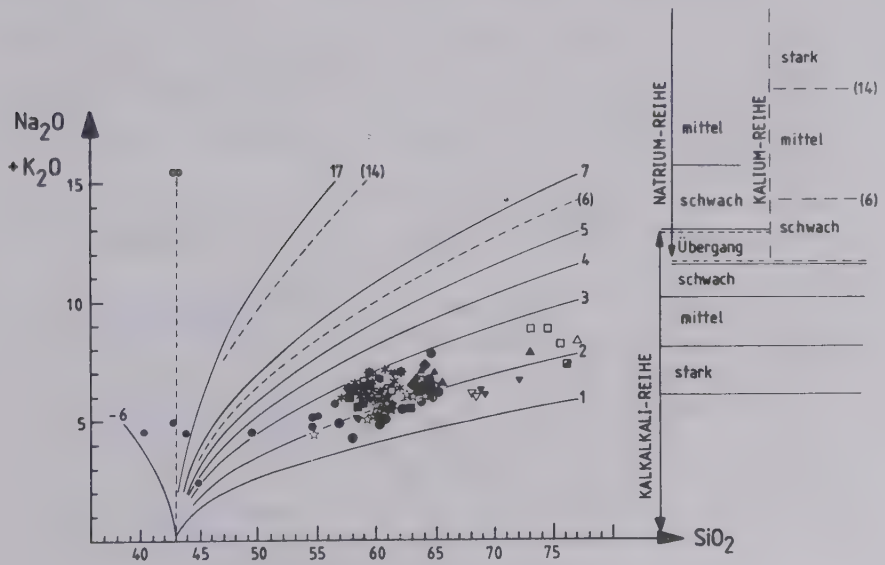


Abb. 72: Sippendiagramm $Na_2O + K_2O$ gegen SiO_2.

In den Abb. 78 bis 81 sind die AFM-Werte der einzelnen untersuchten Vulkanite - nach Fundort getrennt - abgetragen. Die meisten darstellenden Punkte liegen im Bereich der "Hypersthenic Rock Series" nach KUNO (1969:16). Die Isnos-Acevedo-Laven und die Gesteine des Merenberg-Vulkans fallen in den Mg-reicheren Bereich, der bei den Izu-Hakone-Vulkaniten nicht realisiert ist. Innerhalb der einzelnen Vulkangebiete fallen wieder die verschieden stark ausgeprägten Differentiations-Folgen auf.

Betrachtet man die Abb. 82, so erkennt man sofort die später genauer beschriebenen Vulkanit-Gruppierungen:
1. die Alkalirhyolithe (nahe A), 2. die Kalkalkali-Vulkanite (lineare Differentiationsfolge), 3. die Alkaligesteine (erhöhte F - M -Gehalte, unterhalb der "Hypersthenic Rock Series" von KUNO (1969:16).

Abb. 83 zeigt die Abhängigkeit des τ-Wertes vom SiO_2-Gehalt. Je höher der SiO_2-Gehalt im Magma ansteigt, desto geringer wird der TiO_2-Gehalt, und damit erhöht sich τ. Hat der TiO_2-Gehalt bei ca. 70 Gew.-% SiO_2 seinen niedrigsten Wert erreicht, so folgt aus der nahezu logarithmischen Kurve, daß mit weiter steigendem SiO_2-Gehalt die Differenz des Zählers (Al_2O_3 - Na_2O) immer kleiner wird.

Aus der Berechnung der CIPW-Norm (Tab. 5) läßt sich das Diagramm Or-Ab-An (Abb. 85) zeichnen. Vergleicht man dieses mit den darstellenden Punkten der Vulkanite in Abb. 84, so stellt man fest, daß sich der Trend der Na_2O-Vormacht im normativen Albit-Gehalt niederschlägt.

Paßten sich die alkalinen Vulkanite noch dem allgemeinen Verlauf der Punkte in Abb. 84 an, so fallen sie hier deutlich heraus.

Im QAPF-Doppeldreieck (Abb. 86) fällt der überwiegende Teil der Gesteine in das Quarz-Latiandesit- und in das Dacit-Feld, danach folgt mengenmäßig das Alkalirhyolith- und das Quarz-Andesit-Feld. Nur untergeordnet treten Rhyodacit und Plagidacit sowie Latiandesit und Tholeiit-Hawaiit auf. Sehr selten kommen unterkieselte Gesteine vor. Aus der Abb. 86 lassen sich verschiedene Bereiche herausheben, die in Abb. 87 schematisch dargestellt sind.

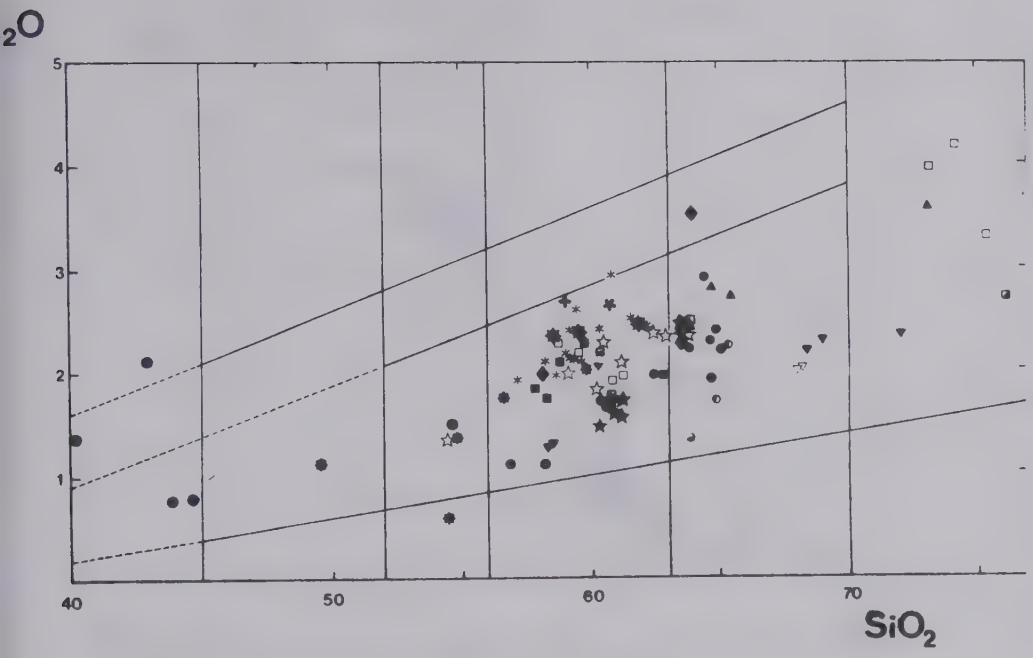


Abb. 73: Die Lage der analysierten Vulkanite im K_2O / SiO_2-Diagramm nach PECCERILLO & TAYLOR (1976:66).

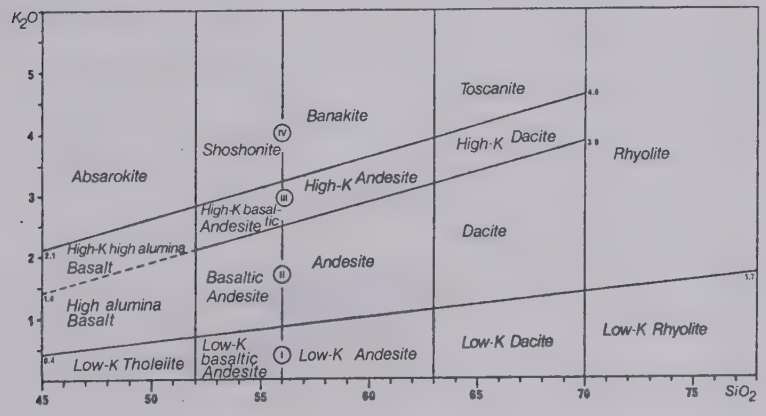


Abb. 74: Klassifikation der Vulkanite nach dem K_2O/SiO_2-Verhältnis (PECCERILLO & TAYLOR, 1976:66).

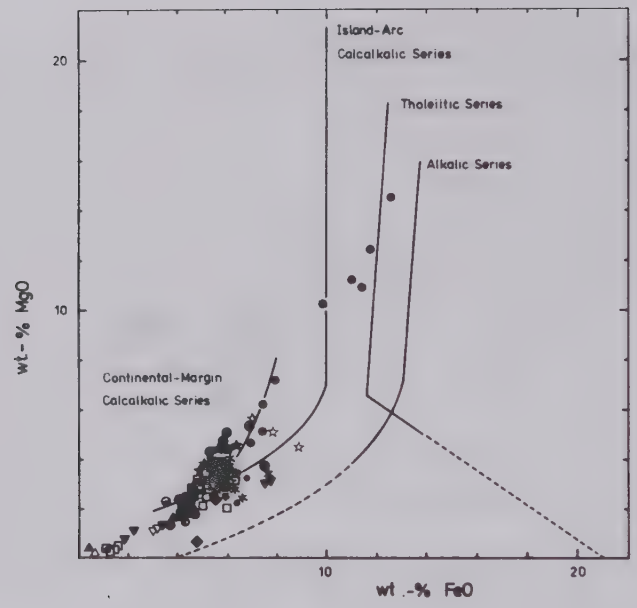


Abb. 75: Die Lage der jungen Vulkanite im Diagramm MgO/FeO nach YODER (1969:79).

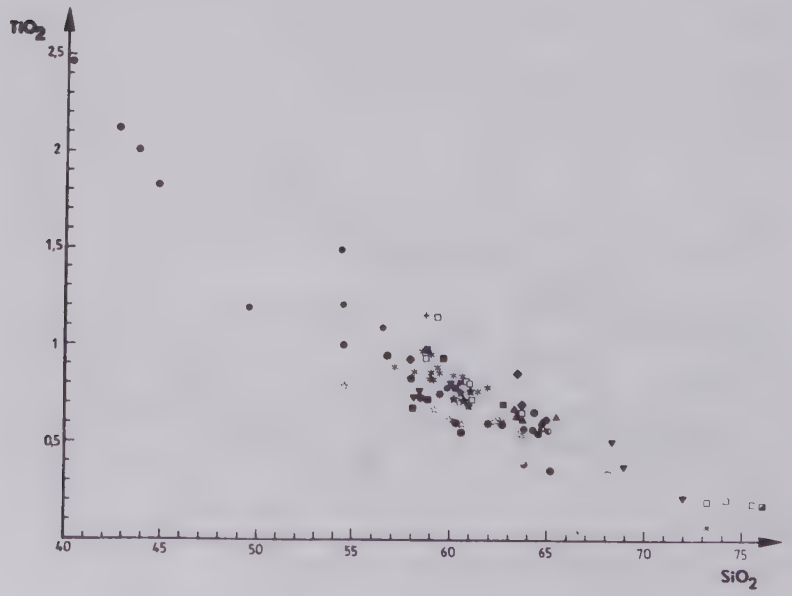


Abb. 76: Abhängigkeit des TiO_2-Gehaltes vom SiO_2-Anteil.

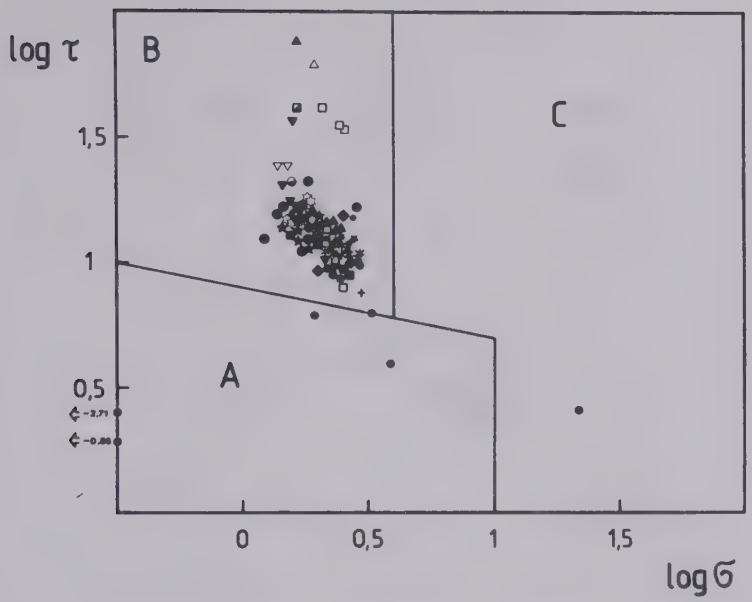


Abb. 77: Die Lage der jungen Vulkanite im GOTTINI-RITTMANN-Diagramm ($\log \tau / \log \sigma$)(RITTMANN, 1973:11).

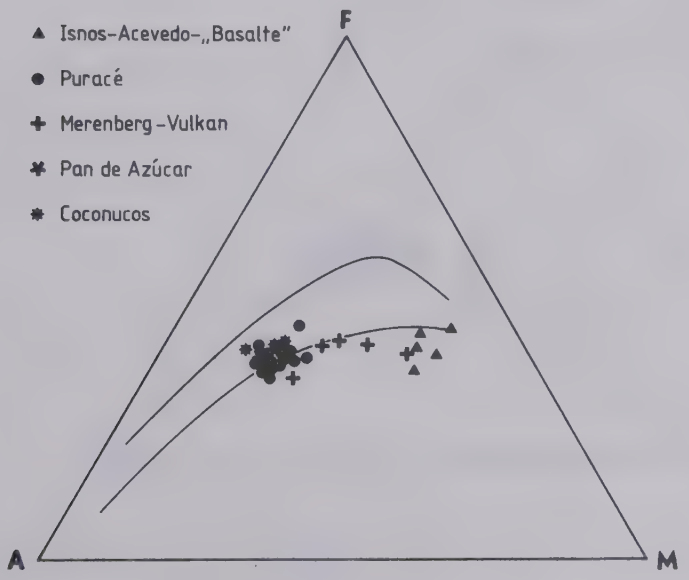
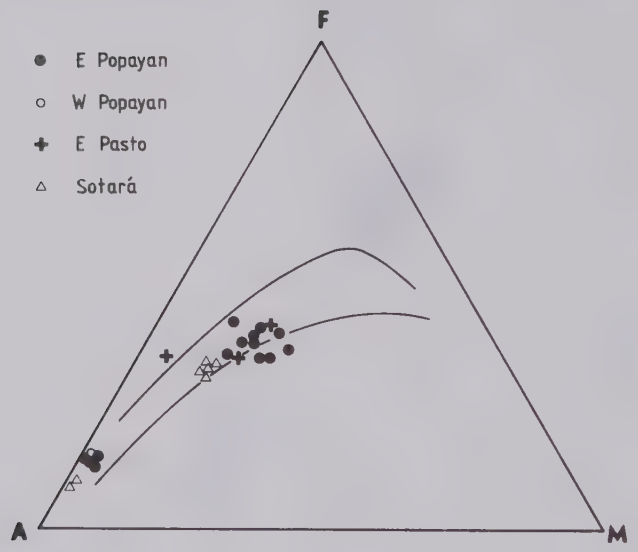


Abb. 78: Verteilung der jungen Vulkanite im AFM-Dreieck.



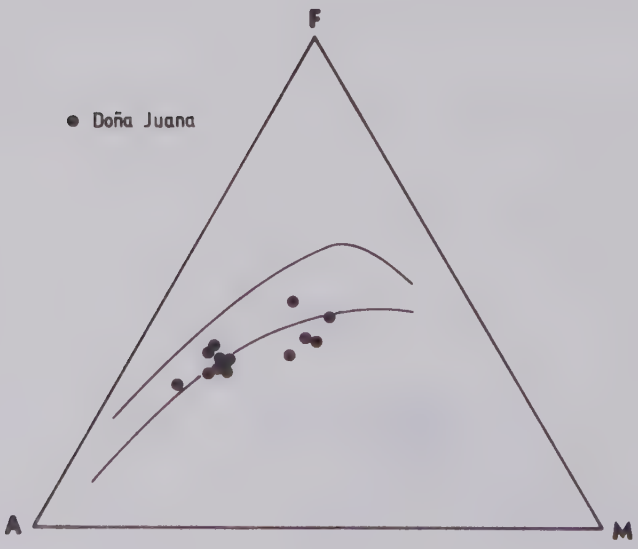


Abb. 79--80: Verteilung der jungen Vulkanite im AFM-Dreieck.

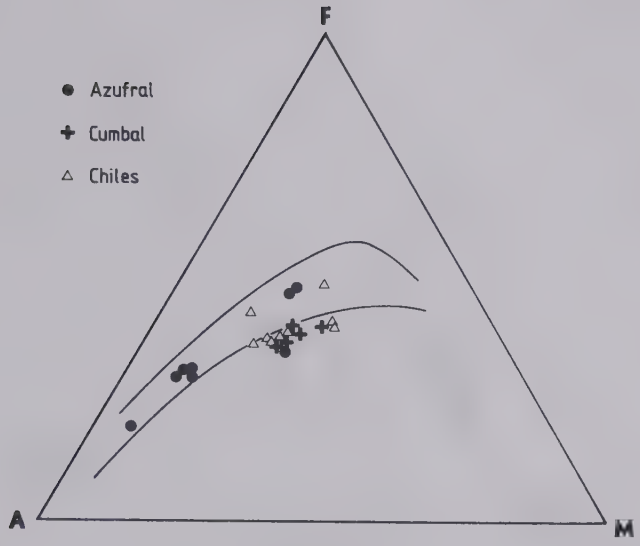


Abb. 81: Verteilung der jungen Vulkanite im AFM-Dreieck.

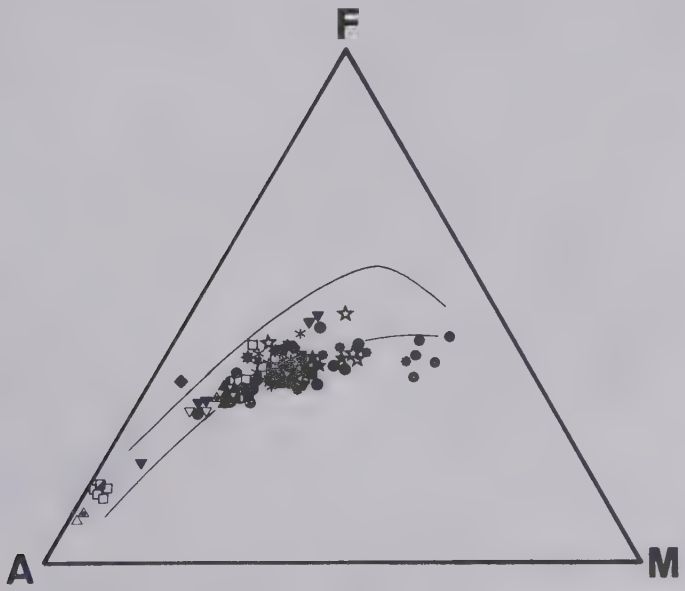


Abb. 82: Darstellung der jungen Vulkanite Süd-Kolumbiens im AFM-Dreieck.

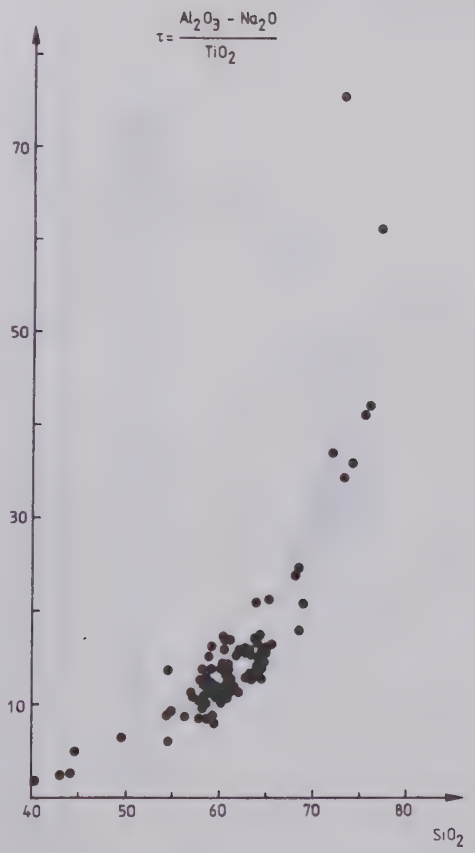


Abb. 83: Lage der jungen Vulkanite im Diagramm τ gegen SiO_2.

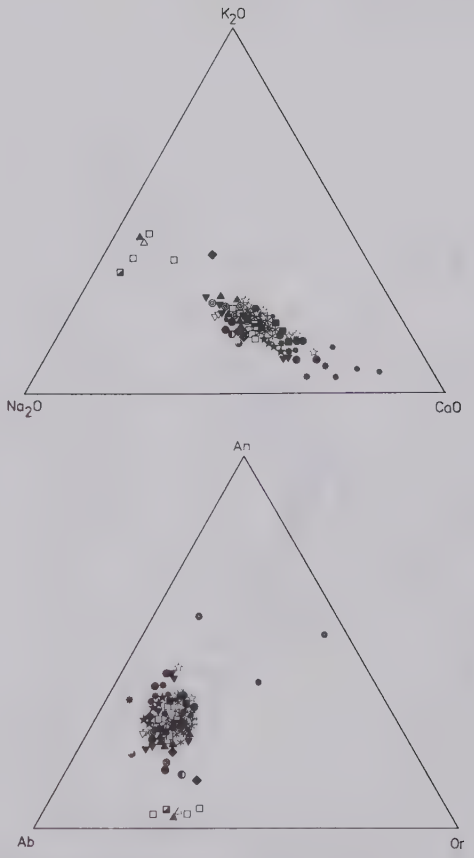


Abb. 84--85: Darstellung der Analysen in den Systemen K_2O-Na_2O-CaO und An-Ab-Or.

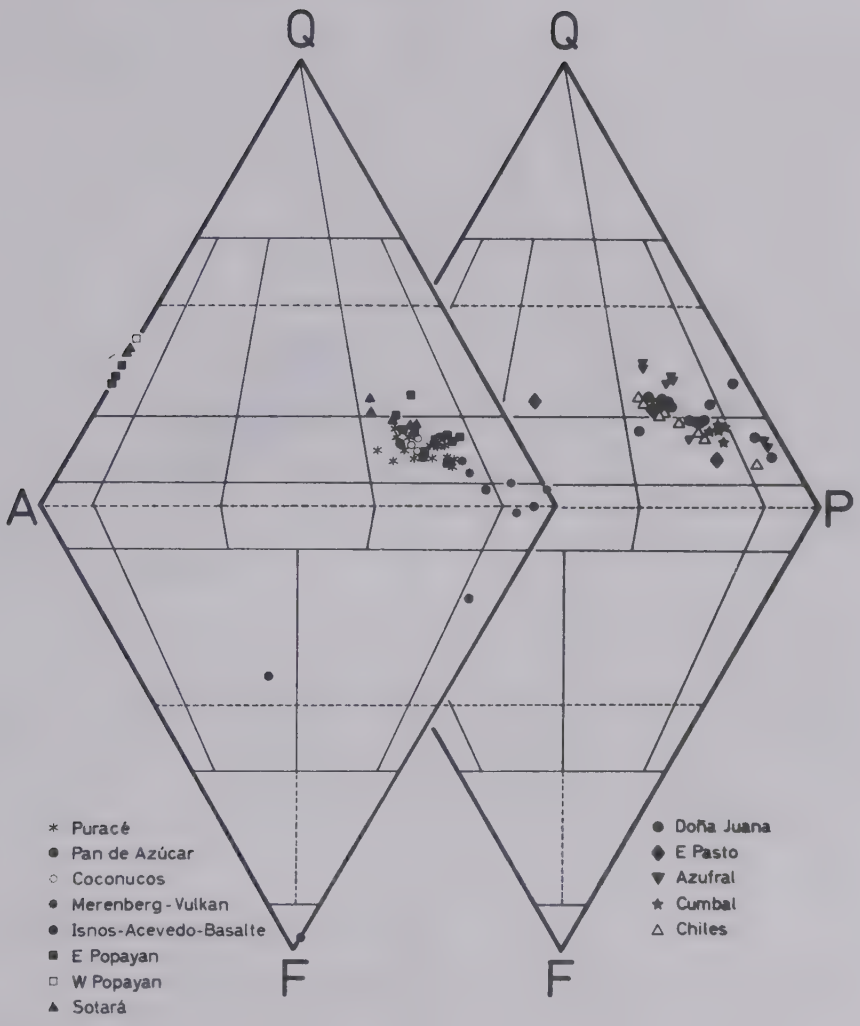


Abb. 86: Detaillierte Darstellung der jungen Vulkanite im QAPF-Doppeldreieck nach STRECKEISEN (1980:194).

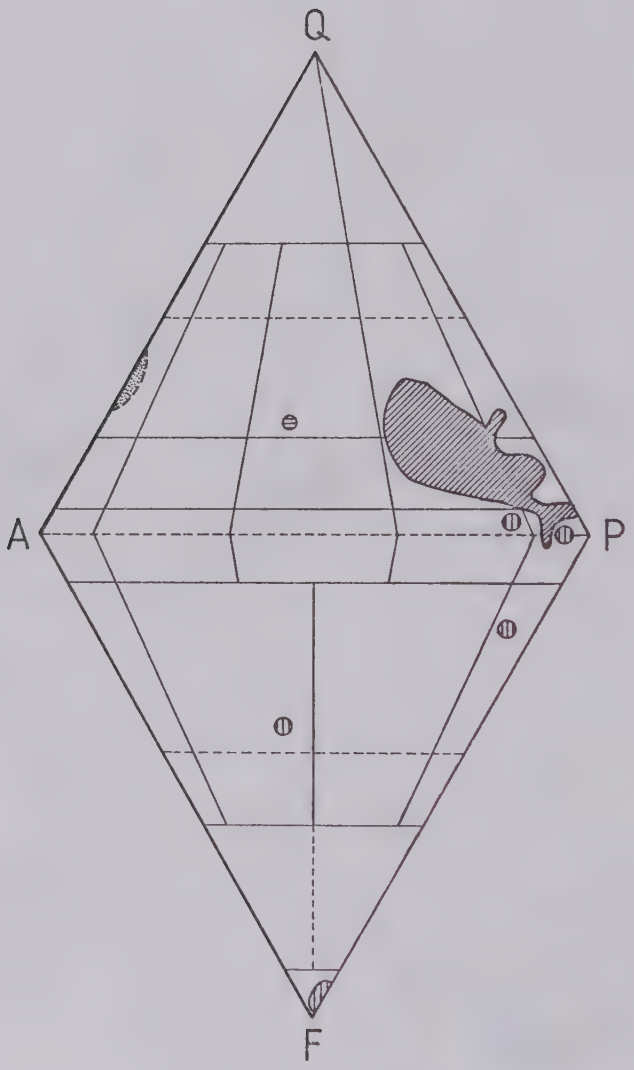


Abb. 87: Schematische Darstellung der jungen Vulkanite im QAPF-Doppeldreieck: 1. Alkalirhyolithe (punktiert)
2. kalkalkaline Vulkanite (schräg schraffiert)
3. alkaline Vulkanite (vertikal schraffiert)
4. Rhyodacit (horizontal schraffiert).

6.1.2 Spurenelemente

6.1.2.1 Die K-Gruppe: Rb, Cs, Ba und Sr

Die Ba- (Abb. 88) und die Rb-Gehalte (Abb. 92) steigen mit zunehmendem K_2O-Anteil stark an, wohingegen ein solcher Verlauf beim Sr (Abb. 89) nicht zu erkennen ist. Die Cs-Werte (Tab. 6) zeigen keinerlei Korrelierbarkeit mit anderen Elementen. Sie liegen zwischen 1 und 5 ppm (in GILL, 1981:126 beträgt die Variationsbreite für orogene Andesite < 1 bis 10 ppm). Vergleicht man Abb. 91 mit Abb. 90 nach GILL (1981:127), so fällt auf, daß die jungen Vulkanite Süd-Kolumbiens alle ein Rb/Sr-Verhältnis >0.05 besitzen, wohingegen die orogenen Andesite meist schon bei einem Verhältnis von 0.01 beginnen. Eine Ausnahme stellen Sumatra, Chile und Peru dar, deren Werte ähnlich liegen wie die der meisten südkolumbischen Vulkanite. Wir haben es hier also mit einem Rb/Sr-Verhältnis zu tun, das für den andinen Vulkanismus typisch ist.

6.1.2.2 Die Th-Gruppe

Die Th-Werte (Abb. 93) steigen ebenfalls deutlich mit zunehmendem K_2O-Gehalt an, doch sind hier Unterschiede zwischen den Werten der Alkalifeldspat-Rhyolithe (> 23 ppm) sowie dem Rhyodacit (24,7 ppm) und den kalkalkalinen Vulkaniten (< 15,2 ppm) zu erkennen. Allgemein deuten die hohen Thorium-Werte (> 20 ppm) auf eine partielle Aufschmelzung von sialischem Krustenmaterial hin. Diese Möglichkeit der Magmengenese wird später weiter erörtert.

6.1.2.3 Die Ti-Gruppe: Zr, Hf und Ta

Trägt man die Spurenelement-Gehalte in das Diskriminationsdreieck nach PEARCE & CANN (1973:295) ein, so fällt auf, daß ein Teil der Quarz-Latiandesite und der Dacite in das Feld B (= calc-alkalic basalts) fällt, obwohl es sich keineswegs um "Basalte" handelt. Da von den alkalinen Vulkaniten keine diesbezüglichen Daten vorliegen, ist dieses Diagramm für eine weitere Auswertung (Abb. 94) unbrauchbar.

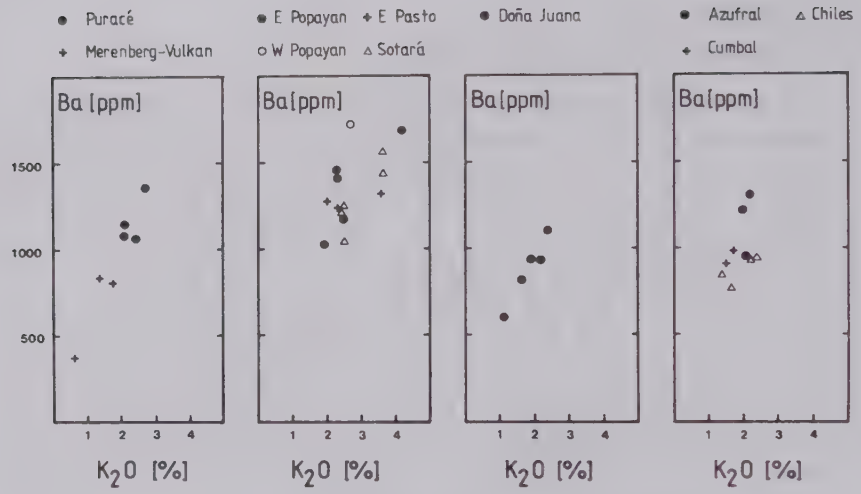


Abb. 88: Darstellung der jungen Vulkanite im Diagramm Ba gegen K_2O.

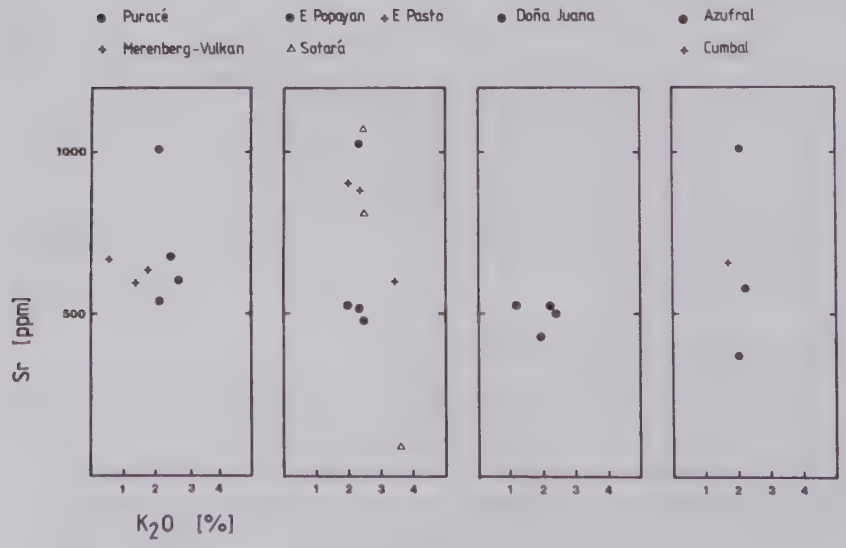


Abb. 89: Darstellung der jungen Vulkanite im Diagramm Sr gegen K_2O.

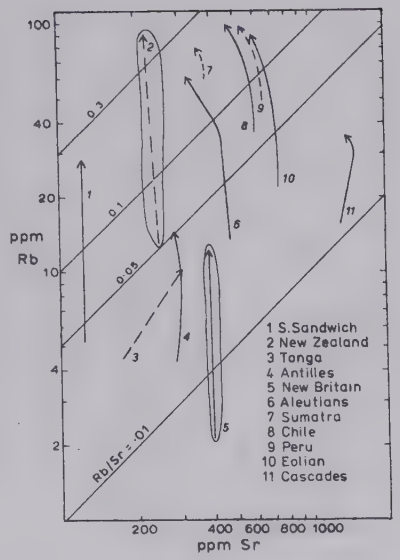


Abb. 90: Darstellung der orogenen Andesite im Diagramm Rb gegen Sr nach GILL (1981:127).

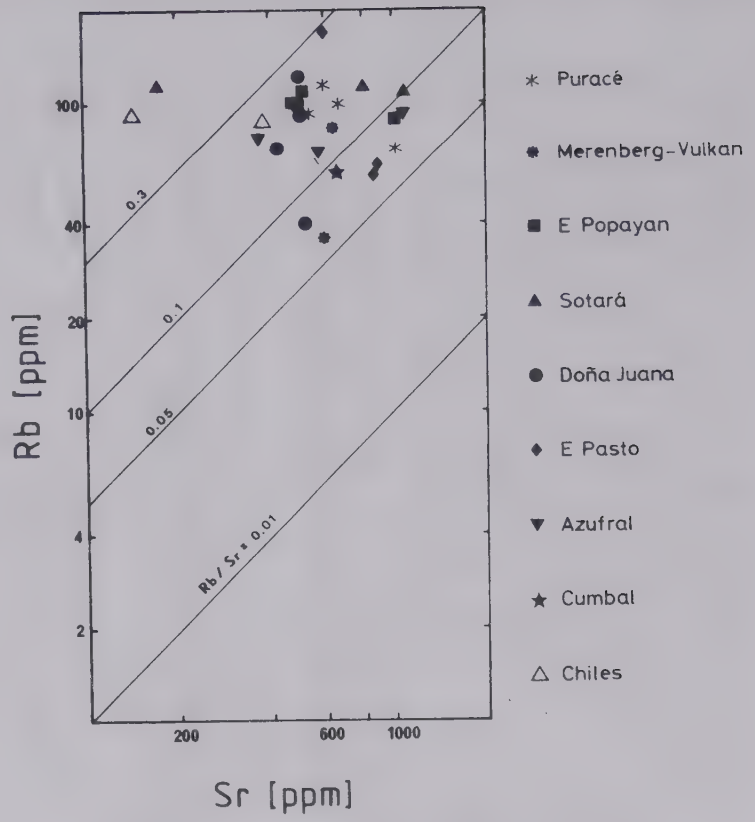


Abb. 91: Lage der jungen Vulkanite Süd-Kolumbiens im Diagramm Rb gegen Sr.

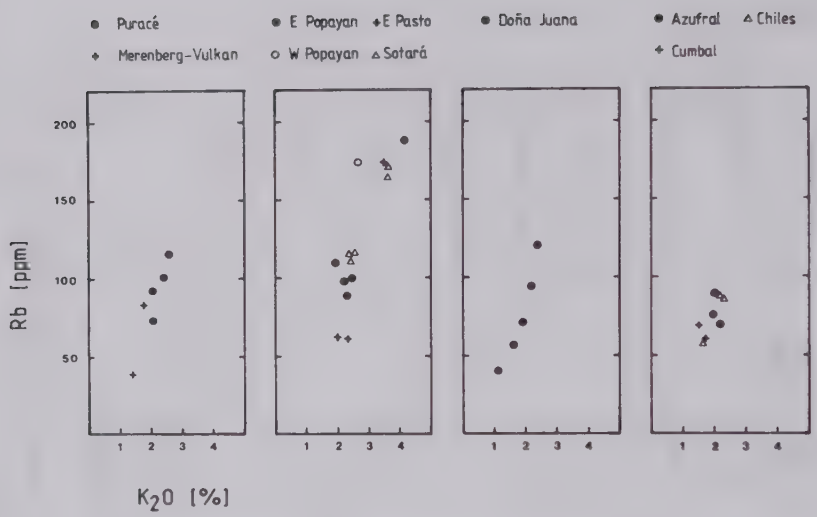


Abb. 92: Lage der süd-kolumbischen Vulkanite im Diagramm Rb gegen K_2O.

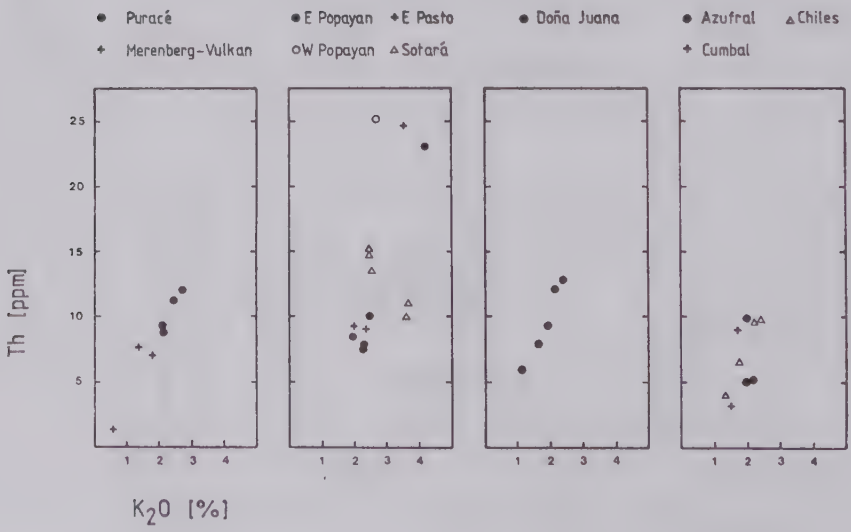


Abb. 93: Lage der analysierten Vulkanite im Diagramm Th gegen K_2O.

In Abb. 95 sind die Zr-, Hf- und Ta-Gehalte (in ppm) gegen K_2O (in Prozent) aufgetragen. Nach GILL (1981:134) besitzen die meisten orogenen Andesite Zr-Gehalte zwischen 50 und 150 ppm. Betrachtet man die darstellenden Punkte der süd-kolumbischen Vulkanite, so besitzen diese einen weitaus höheren Zr-Anteil. Zudem sollen in orogenen Andesiten die Zr-, Hf- und Ta-Werte mit zunehmendem K_2O ansteigen. Dies trifft für Ta und Hf zu, für Zr jedoch nicht.

6.1.2.4 Die "siderophile" Gruppe: Co, Cr und Sc

Nach GILL (1981:134) korreliert der Gehalt dieser Elemente negativ mit dem Silikat-Anteil. Vergleicht man diese Aussage mit Abb. 96, so bestätigt sich dies bei allen drei genannten Elementen.
Die Elemente dieser Gruppe reichern sich in den "Ferromagnesium"-Mineralen an und werden dadurch der koexistierenden Schmelze entzogen. Insgesamt liegen die Gehalte an Co und Sc annähernd in den von GILL (1981:136 f) angegebenen Bereichen (Co: 40--10 ppm und Sc: 40--10 ppm).

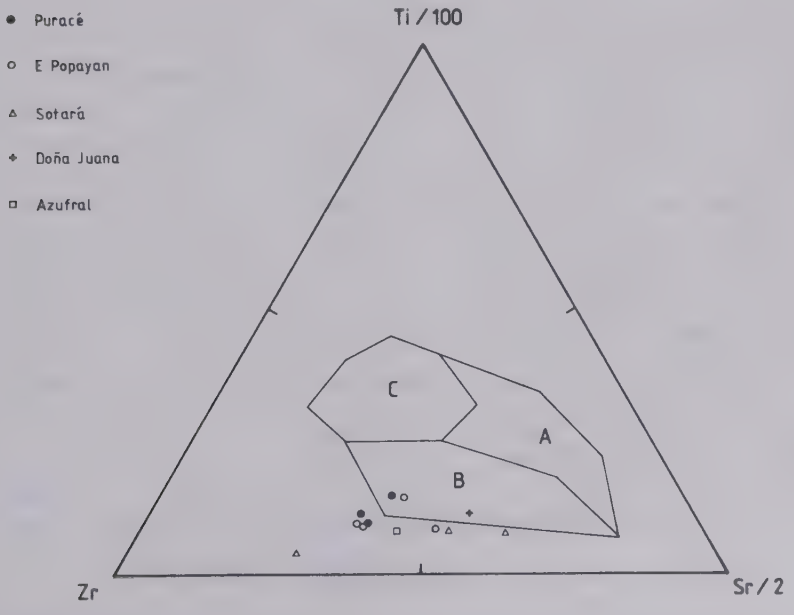


Abb. 94: Lage der Vulkanite im Diskriminationsdreieck nach PEARCE & CANN (1973:295).

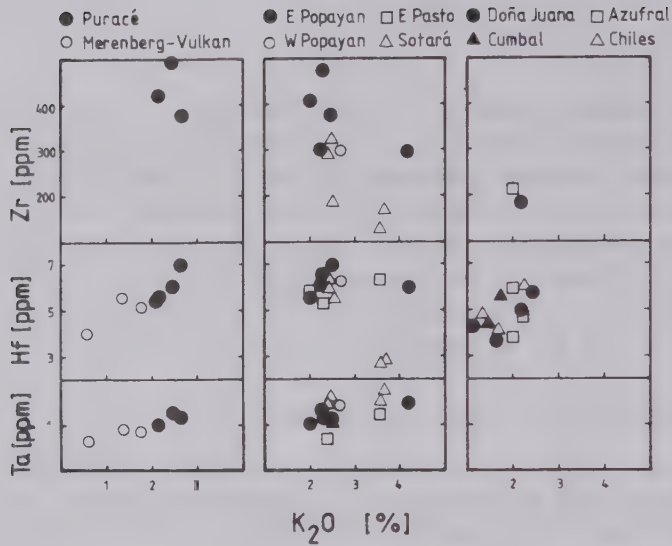


Abb. 95: Darstellung der Vulkanite im Verteilungsdiagramm Ta, Hf und Zr gegen K_2O.

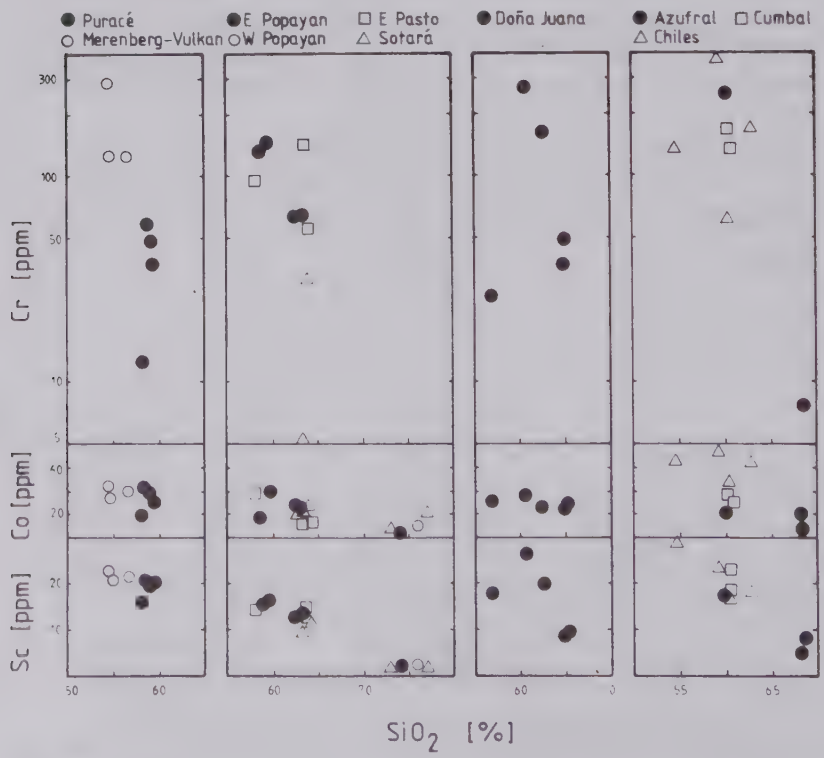


Abb. 96: Darstellung der jungen Vulkanite im Verteilungsdiagramm Sc, Co und Cr gegen SiO_2.

6.1.2.5 Die chalkophile Gruppe: Zn

Nach GILL (1981:137) variieren die Zink-Gehalte in den orogenen Andesiten zwischen 50 und 100 ppm. Meist nimmt der Zn-Anteil mit steigendem SiO_2-Gehalt ab. Bei den südkolumbischen Vulkaniten zeigen die Zink-Werte keinerlei Korrelation mit den SiO_2-Gehalten (Tab. 7).

6.1.3 Die Elemente der Seltenen Erden (SE)

Die Verteilung der Seltenen Erden der einzelnen Vulkankomplexe bzw. Vulkangebiete (Abb. 97) gleicht derjenigen von GILL (1981: 128). Meist handelt es sich um die Vertreter der "High-K Suites", selten um Vertreter der "Medium-K Suites".
Allgemein ist zu sagen, daß alle Vulkanite eine Anreicherung an leichten Seltenen Erden gegenüber den schweren SE besitzen. Insgesamt nimmt der Gehalt der Seltenen Erden mit steigender Ordnungszahl (La--Lu) kontinuierlich ab. Anomalien bestimmter Elemente treten im allgemeinen nur selten auf. Eine negative Europium-Anomalie weist lediglich der Obsidian vom Sotará und der Ignimbrit aus dem Vulkangebiet W Popayan auf. Eine positive Nd-Anomalie findet sich bei den Laven des Puracé und des Merenberg-Vulkans sowie bei den Laven und Ignimbriten des Vulkangebietes E Popayan.
Gewöhnlich steigen die Gehalte aller SE mit zunehmendem SiO_2-Anteil an (GILL, 1981:130). Betrachtet man die darstellenden Punkte der südkolumbischen Vulkanite (Abb. 97), so läßt sich eher das Gegenteil feststellen. Sowohl beim La als auch beim Yb ist eine negative Korrelation mit steigendem SiO_2-Anteil angedeutet (Abb. 98).

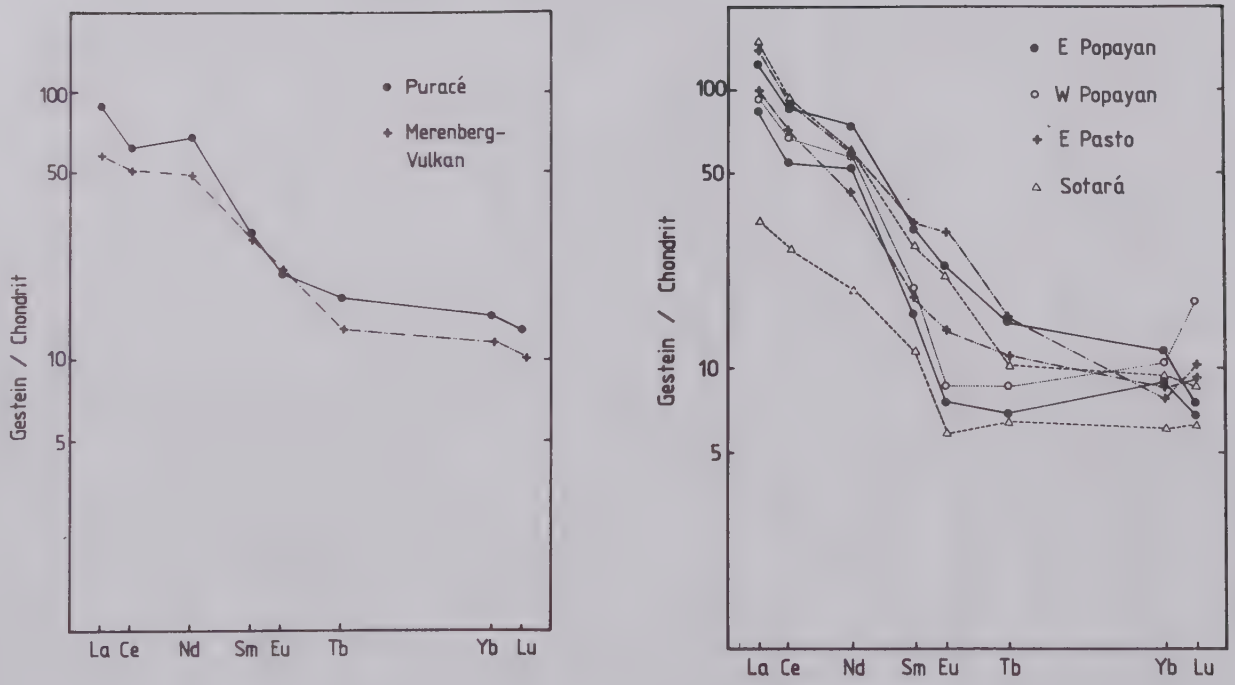


Abb. 97 a und b: Verteilung der REE-Spektren verschiedener Vulkangebiete gegen den Gehalt der Chondrite (WEDEPOHL, 1975:168).

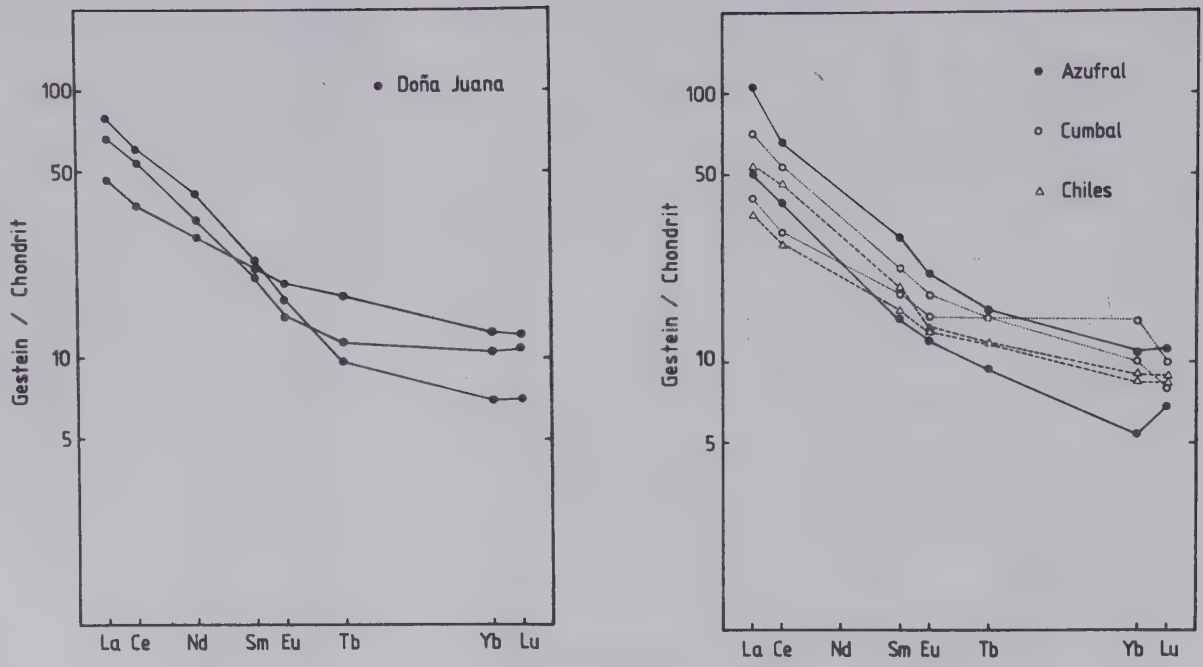


Abb. 97 c und d: Verteilung der REE-Spektren verschiedener Vulkangebiete gegen den Gehalt der Chondrite (WEDEPOHL, 1975:168).

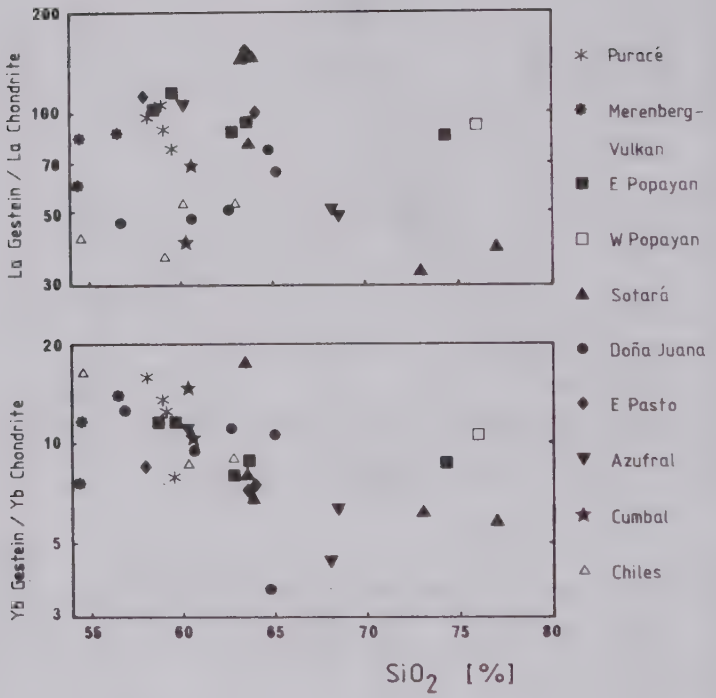


Abb. 98: Verteilung der Lanthan- und der Ytterbium-Gehalte (chondrit-normalisiert) der jungen Vulkanite Süd-Kolumbiens mit steigendem SiO_2-Gehalt.

6.2 Kristallisationsfolge der wichtigsten Magmentypen

An ausgewählten Vulkaniten wird ein Vergleich mit experimentellen Daten verschiedener Autoren durchgeführt, um so anhand der verschiedenen Mineralparagenesen die Kristallisationsfolge und die dabei herrschenden pT-Bedingungen sowie die Eruptionstemperaturen der Magmen näherungsweise zu ermitteln.
Genaue thermodynamische Berechnungen, wie sie NICHOLLS (1977: 327 ff) durchführt, sind hier leider nicht möglich, da einige Grundvoraussetzungen fehlen, wie zum Beispiel die genauen pT-Bedingungen während der Eruption (Fe-Ti-Oxid-Temperatur), die chemische Zusammensetzung der "Glasphase" und die Zahl der sich im Gleichgewicht befindlichen Mineralphasen.
Das Orthopyroxen-Klinopyroxen-Geothermometer (WOOD & BANNO, 1973:109 ff und WELLS, 1977:129 f) läßt sich ebenfalls nicht anwenden, da die X_{Fe}^{opx} nicht berechnet werden können (unsere Mikrosonde liefert nur Gesamteisen).
Das Feldspat-Geothermometer nach BARTH (1962:330 ff) läßt sich auch nicht anwenden, da keine Ab-Gehalte der "koexistierenden" Alkalifeldspäte vorliegen. Das Plagioklas-Thermometer nach KUDO & WEILL (1970:52 ff) ist aufgrund der fehlenden Koexistenz von Plagioklas und Schmelze (Resorption !) unbrauchbar, ebenso die Anwendung des Thermometers auf saure Gläser (pH_2O = 0,5 kbar), wie es STORMER & CARMICHAEL (1970:306 ff) vorschlagen.

6.2.1 Alkalifeldspat-Rhyolith

Probe 47: Ignimbrit aus dem Vulkangebiet E Popayan, der sehr stark verschweißt ist und geregelte, ausgelängte Flammen besitzt. Die Glasphase ist rekristallisiert.
Nach HENTSCHEL (1963:309) werden Minimaltemperaturen von 550° bis 600° C zur Erweichung eines Bimssteinglases benötigt, um die Flammen zu bilden.
Kristallisationsfolge: Analbit + Biotit
Quarz
Entglasungsprodukte
pT-Bedingungen: pH_2O = 1000--3000 kg/cm²
T = 725--675° C (KHITAROV et al., 1969 a:242)
Eruptionstemperatur: ca. 675° C
Für Ignimbrite gibt MCTAGGERT (1960:370) Eruptionstemperaturen von 700° bis 1150° C an.

Probe 64: Obsidian vom Vulkan Sotará mit resorbiertem Cordierit und Quarz und vielen winzigen Analbit- und Biotit-Kristalliten.
Kristallisationsfolge: Analbit
Biotit
pT-Bedingungen: p = ca. 500 kg/cm²
T = 800--750° C (KHITAROV et al., 1969 a: 241)
Eruptionstemperatur : ca. 750° C

6.2.2 Dacit

Probe 71: Lava vom Vulkan Sotará
Nach EGGLER (1972:33) wäre die T_{max} für Hornblende = 940° C bei 5,5 kbar und 4,5 % H_2O in der Schmelze.
Da die Probe modal weniger Biotit und Hornblende besitzt als normativ, beträgt der pH_2O weniger als 2000 kg/cm² und mehr als 1000 kg/cm² (KHITAROV et al., 1969 b:7 f). Setzt man diese Annahme voraus, so ergibt sich nach WYLLIE (1971:187) folgende
Kristallisationsfolge: Hornblende
Plagioklas
Biotit
pT-Bedingungen: pH_2O = 1,8--2 kbar (da kein Klinopyroxen!)
T = 970--750° C
Eruptionstemperatur: ca. 750° C

6.2.3 Quarz-Latiandesit

Probe 12: Lava vom Vulkan Puracé ("two-pyroxene andesite")
Kristallisationsfolge: Plagioklas
Klinopyroxen
Orthopyroxen (IVANOV et al., 1978:103)
Magnetit
Da der präeruptive H_2O-Gehalt für orogene Andesit-Magmen nach GILL (1981:64) 2--5 Gew.-% beträgt, lassen sich nach IVANOV et al. (1978:105) folgende pT-Bedingungen ablesen:
pT-Bedingungen: p = 5--10 kbar bei 1--3 Gew.-% H_2O
1,5--2,5 kbar bei $\geq$ 5 Gew.-% H_2O
T = 1150--1040° C
Eruptionstemperatur: ca. 1000° C

Probe 15: Lava vom Vulkan Puracé ("hornblende-pyroxene-andesite") mit Olivin-Kumulaten.

Kristallisationsfolge: Plagioklas
Klinopyroxen
Orthopyroxen
Magnetit
Hornblende
Cristobalit

pT-Bedingungen: p = siehe Probe 12
T = 1040--900° C (IVANOV et al., 1978:105)

Eruptionstemperatur: ca. 900--930° C

Die Bildung des Cristobalit erfolgte in den gasgefüllten Hohlräumen durch Gastransport nach der Verfestigung der Grundmasse (LARSEN et al., 1936:694).

Probe 46: Ignimbrit aus dem Vulkangebiet E Popayan ("Hornblende-Andesit") mit annähernd 14 Vol.-% Hornblende (Modalanalyse entspricht der des "Espeditsiya" Dome in IVANOV et al., 1978:102).

Kristallisationsfolge: Plagioklas
Klinopyroxen
Orthopyroxen
Hornblende
Magnetit

pT-Bedingungen: p = 1,5--8 kbar bei 2--3 Gew.-% H_2O
T = 1040--900° C (IVANOV et al., 1978:106 f)

Eruptionstemperatur: 900--930° C

6.2.4 Quarz-Andesit

Probe 31: Lava vom Merenberg-Vulkan mit Olivin-Phänokristallen.

Kristallisationsfolge: Olivin
Plagioklas
Orthopyroxen (IVANOV et al., 1978:108)
Klinopyroxen
Magnetit

pT-Bedingungen: p = ca. 3 kbar bei ca. 1 Gew.-% H_2O
T = 1180--980° C

Eruptionstemperatur: ca. 980--1000° C

6.2.5 Quarz-normativer Tholeiit-Hawaiit

Probe 33: Lava vom Merenberg-Vulkan
Kristallisationsfolge: Olivin
Klinopyroxen
Orthopyroxen (YODER & TILLEY, 1962:449)
Plagioklas
Erz
pT-Bedingungen: $pH_2O \leqq$ 1,4 kbar (YODER & TILLEY, 1962:450)
T = 1160--980° C
Eruptionstemperatur: ca. 980° C

6.2.6 Alkaliolivinbasalt

Probe 29: Lava vom Merenberg-Vulkan
Kristallisationsfolge: Spinell
Olivin
Pyroxen (YODER & TILLEY, 1962:452)
Plagioklas
pT-Bedingungen: $pH_2O \leqq$ 1,4 kbar
T = 1150--990° C
Eruptionstemperatur: ca. 1000° C

6.2.7 Mafitischer Olivin-Nephelinit

Probe 40: Lava aus dem Isnos-Acevedo-Vulkangebiet
Kristallisationsfolge: Spinell
Olivin
Klinopyroxen
pT-Bedingungen: p = 13--18 kbar (MACDONALD, 1968:514)
"intermediate pressure regime" (O'HARA, 1965:33
T = 1300--1200° C (YODER & TILLEY, 1962:380 für 1 atm.)
Eruptionstemperatur: 1180--1200° C (bei 1180° C wäre kotektische Kristallisationstemperatur für Olivin, Klinopyroxen und Plagioklas (O'HARA, 1965:23))

6.3 Magmendifferentiation

Eine rechnerische Differentiation der verschiedenen Gesteinstypen wurde mittels eines von cand. min. M. GOTTSCHALK (Tübingen) erstellten Differentiationsprogramms durchgeführt. Dieses Programm gestattet lediglich eine rechnerisch mögliche Differentiation von Magmen; wie die tatsächliche Entwicklung abgelaufen ist, läßt sich anhand der Berechnung allein nicht beweisen. Die unten angegebenen Resultate stellen die rechnerisch und theoretisch plausibelsten Erklärungen dar.
Als sogenannte "Stammagmen" wurden immer die primitivsten Förderprodukte eines Vulkans bzw. Vulkangebietes ausgewählt. Sämtliche Angaben erfolgen in Mol.-%; als "Tochtermagma" wird die differenzierte Restschmelze (Stammagma abzüglich der Differentiate) angegeben. Die durch gravitative Differentiation zurückgebliebenen "Differentiate" sind jeweils auf 100 % umgerechnet, da sich so leichter die sich ergebenden "Kumulat"-Gesteine erkennen lassen. Die Restsumme gibt den Betrag der Menge an Mol.-% der Oxide an, die entweder zu wenig oder zu viel zur Bildung der Minerale verbraucht wurde. Sämtliche Angaben sind gerundet. Die Abkürzungen und zugrunde gelegten Analysen sind der Tab. 10 zu entnehmen.

6.3.1 Die kalkalkalinen Vulkanite

Die kalkalkalinen Vulkanite lassen sich sehr einfach durch eine normale gravitative Differentiation darstellen. Dies wird hier anhand einiger wichtiger Beispiele ausgeführt.

Vulkan Puracé:	Stammagma:	Probe 12	
	Tochtermagma:	Probe 6 (70 %)	
	Differentiate:	Plagioklas (An_{50})	70
		Orthopyroxen Opx 1	19
		Titanomagnetit Mtti	11
Summe der Reste: 0,6		Apatit Ap	< 1

Vulkan Sotará:	Stammagma:	Probe 65	
	Tochtermagma:	Probe 73 (81 %)	
	Differentiate:	Plagioklas (An_{40})	76
		Orthopyroxen Opx 1	14
		Titanomagnetit Mtti	6
		Ilmenit Il	3
Summe der Reste: 0,5		Apatit Ap	1

Tab. 10 : Analysen zur Berechnung der Magmendifferentiation (GRLH in Gew.-%, alle anderen Angaben in Mol).

	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5
GRLH[1]	44,54	0,26	2,80	10,24	0,13	37,94	3,32	0,34	0,14	--
An_{40}[2]	2,60	--	0,70	--	--	--	0,40	0,30	--	--
An_{45}	2,56	--	0,70	0,05	--	--	0,43	0,27	0,02	--
An_{50}[3]	2,50	--	0,75	--	--	--	0,50	0,25	--	--
An_{53}	2,54	--	0,71	0,05	--	--	0,50	0,22	0,20	--
An_{60}	2,40	--	0,80	--	--	--	0,60	0,20	--	--
Diopsid	2,00	--	--	--	--	1,00	1,00	--	--	--
Cpx 1[4]	1,93	0,02	0,05	0,37	0,01	0,72	0,76	0,06	--	--
Cpx 3[5]	1,93	0,01	0,04	0,16	--	0,93	0,88	0,01	--	--
Tiau.OB[6]	1,78	0,10	0,12	0,34	0,01	0,61	0,87	0,02	--	--
Bronzit	2,00	--	--	0,50	--	1,50	--	--	--	--
Opx 1[7]	1,93	0,01	0,05	0,37	0,01	1,55	0,05	--	--	--
Fo_{80}	1,00	--	--	0,40	--	1,60	--	--	--	--
Fo_{88}	1,00	--	--	0,24	--	1,76	--	--	--	--
Fo_{90}	1,00	--	--	0,20	--	1,80	--	--	--	--
Apatit	--	--	--	--	--	--	5,00	--	--	1,5
Ilmenit	--	1,00	--	1,00	--	--	--	--	--	--
Mtti	--	0,08	--	2,92	--	--	--	--	--	--
Pyrop	3,00	--	1,00	--	--	3,00	--	--	--	--

Quellenangabe: 1. Granat-Lherzolith: YODER (1976:35)
2. Plagioklas-Analyse 119/3
3. Plagioklas-Analyse 128/1
4. Pyroxen-Analyse 115/2
5. Pyroxen-Analyse 33/5
6. Titanaugit: DEER, HOWIE& ZUSSMAN (1978:320)
7. Pyroxen-Analyse 119/4

Doña Juana:	Stammagma:	Probe 84	
	Tochtermagma:	Probe 83 (54 %)	
	Differentiate:	Plagioklas (An_{60})	54
		Klinopyroxen Cpx 1	21
		Orthopyroxen Opx 1	13
		Titanomagnetit Mtti	8
		Ilmenit Il	4
Summe der Reste: 0,3		Apatit	< 1
Vulkan Azufral:	Stammagma:	Probe 112	
	Tochtermagma:	Probe 108 (37 %)	
	Differentiate:	Plagioklas (An_{53})	71
		Orthopyroxen Opx 1	19
		Titanomagnetit Mtti	8
		Klinopyroxen Cpx 1	2
Summe der Reste: 0,8		Apatit Ap	< 1
Vulkan Chiles:	Stammagma:	Probe 124	
	Tochtermagma:	Probe 126 (49 %)	
	Differentiate:	Plagioklas (An_{60})	52
		Klinopyroxen Cpx 1	24
		Olivin (Fo_{88})	12
		Titanomagnetit Mtti	8
		Ilmenit Il	4
Summe der Reste: 0,3		Apatit Ap	< 1
Merenberg-Vulkan:	Stammagma:	Probe 33	
	Tochtermagma:	Probe 30 (45 %)	
	Differentiate:	Plagioklas (An_{45})	46
		Klinopyroxen Cpx 3	36
		Olivin (Fo_{80})	8
		Ilmenit Il	5
Summe der Reste: 0,8		Titanomagnetit Mtti	5
	Stammagma:	Probe 29	
	Tochtermagma:	Probe 33 (37 %)	
	Differentiate:	Plagioklas (An_{45})	40
		Olivin (Fo_{88})	33
		Klinopyroxen Tiau.	22
		Titanomagnetit Mtti	4
Summe der Reste: 0,6		Apatit Ap	1

6.3.2 Die alkalinen Gesteine

Die alkalinen jungen Vulkanite Süd-Kolumbiens lassen sich rechnerisch nicht aus Pikrit oder dessen Differentiationsprodukten durch eine einfache gravitative Differentiation im Pyromagma ableiten, wie dies zum Beispiel RITTMANN (1981:320) fordert. O'HARA (1965:36 a) nimmt für die Bildung von Alkaligesteinen eine Fraktionierung von Hypersthen-normativem Pikritmagma unter mittleren (Nephelinit) bis niedrigen (Alkaliolivinbasalt) Drucken an. Eine partielle Aufschmelzung von Granat-Peridotit (YODER & TILLEY, 1962:342) ergibt aufgrund zu großer chemischer Unterschiede ebenfalls keinen Olivin-Nephelinit bzw. Alkaliolivinbasalt südkolumbischer Zusammensetzung.
Da als Stammagma auf jeden Fall eine sehr primitive Schmelzlösung angenommen werden muß, erfolgte eine theoretische und rechnerische Untersuchung mit folgenden möglichen Mantelgesteinen: verschiedene Pikrite, Peridotite, Amphibolite, Pyroxenite, Eklogite und Kimberlite. Als geeignetestes Gestein ergab sich ein Granat-Lherzolith (YODER, 1976:35). Von diesem ließen sich alle in Frage kommenden südkolumbischen alkalinen Vulkanite ableiten.

Die Prozentangaben hinter dem Tochtermagma geben den Anteil an partieller Schmelze an. Das im Mantel verbleibende ungeschmolzene Material wird hier unter dem Begriff Residuum geführt.

Isnos-Acevedo-Vulkangebiet:	Stammagma:	Granat-Lherzolith GRLH	
	Tochtermagma:	Probe 40 (12 %)	
	Residuen:	Olivin (Fo_{90})	76
		Bronzit	17
		Diopsid	5
Summe der Reste: 0,4		Pyrop	2
	Stammagma:	Granat-Lherzolith GRLH	
	Tochtermagma:	Probe 35 (13 %)	
	Residuen:	Olivin (Fo_{90})	81
		Bronzit	13
		Diopsid	5
Summe der Reste: 0,7		Pyrop	1

	Stammagma:	Granat-Lherzolith GRLH	
	Tochtermagma:	Probe 37 (16 %)	
	Residuen:	Olivin (Fo_{90})	83
		Bronzit	12
		Diopsid	4
Summe der Reste: 0,2		Pyrop	1
Merenberg-Vulkan:	Stammagma:	Granat-Lherzolith GRLH	
	Tochtermagma:	Probe 29 (15 %)	
	Residuen:	Olivin (Fo_{90})	85
		Bronzit	10
Summe der Reste: 1,2		Diopsid	5

6.3.3 Die alkalirhyolithischen Gesteine

Die Alkalirhyolithe des Vulkans Sotará und der Vulkangebiete E und W Popayan lassen sich nicht durch Differentiation aus den vorher aufgeführten Magmen herleiten. Für ihre Bildung muß eine anatektische Aufschmelzung von Krustenmaterial angenommen werden, da keinerlei Übergangsglieder seitens der kalkalkalinen Vulkanite vorhanden sind. Sie lassen sich auch rechnerisch nicht von den zugehörigen Quarz-Latiandesiten oder Daciten ableiten.

6.4 Magmengenese

Wie schon in Abb. 87 dargestellt und im Kapitel 6.1.1 vermerkt, lassen sich in Süd-Kolumbien vier verschiedene Vulkanit-Gruppierungen erkennen:

1. die alkalirhyolithischen Gläser des Sotará und die alkalirhyolithischen Ignimbrite der Vulkangebiete E und W Popayan;
2. die kalkalkalinen Vulkanite (tholeiitbasaltischer bis dacitischer Chemismus) des Puracé, der Coconucos, des Pan de Azúcar, des Merenberg-Vulkans, des Sotará, der Doña Juana, des Azufral, des Cumbal, des Chiles und der Vulkangebiete E Popayan und teilweise E Pasto;
3. die alkalinen Vulkanite des Merenberg-Vulkans (Alkaliolivinbasalt) und des Isnos-Acevedo-Vulkangebietes (Alkaliolivinbasalt, Basanit, Tephriphonolith und Olivin-Nephelinit);
4. die rhyodacitische Lava aus dem Vulkangebiet E Pasto.

Diese vier verschiedenen Gruppierungen lassen aufgrund der vorher beschriebenen Resultate die im folgenden diskutierten verschiedenen Magmengenesen zu. Zur Herleitung der Genese der kalkalkalinen Gesteine wurde vor allem die zusammenfassende Arbeit von GILL (1981) über die orogenen Andesite herangezogen.

6.4.1 Die alkalirhyolithischen Vulkanite

Die Alkalirhyolithe sind höchstwahrscheinlich durch Anatexis sialischen Krustenmaterials entstanden (WINKLER, 1976:280 ff). Dies läßt sich durch die hohen Alkali- und SiO_2-Gehalte, durch die hohen Thorium-, Barium-, Strontium- und Rubidium-Werte, durch das Auftreten von resorbierten Cordierit-, Quarz- und Analbit-Kristalloklasten und durch eine schwach bis deutlich ausgeprägte Europium-Anomalie belegen.
Eine Differentiation von kalkalkaliner Seite ist auszuschließen, da keine Zwischenglieder (z.B. Rhyolithe) existieren und auch eine rechnerische Differentiation am extremen Chemismus scheitert.
Ihr unterschiedliches Auftreten ist lediglich bedingt durch einen verschiedenen Fördermechanismus (Obsidian, Bimsstein oder Ignimbrit).

6.4.2 Die kalkalkalinen Vulkanite

Bei den meisten jungen Vulkaniten handelt es sich um die typischen Vertreter der kalkalkalinen Differentiationsreihe (Tholeiitbasalt, Quarz-Andesit, Quarz-Latiandesit, Dacit). Sie lassen sich alle als Differentiate aus den primitivsten Vulkaniten der jeweiligen Förderzentren herleiten. So stellt sich hier nur die Frage nach der Genese der jeweiligen "Stammagmen" aus Kapitel 6.3.
Da es sich um das Problem der Andesit-Bildung im Bereich eines aktiven Kontinentalrandes handelt, wird die dabei mögliche Genese etwas ausführlicher diskutiert.

6.4.2.1 Theorien der Entstehung "andesitischer" Magmen

GILL (1981:314 f) schreibt in seinem Epilog folgendes über die Genese der Andesite:

"However, evidence that the principal means of andesite genesis is crystal fractionation of phenocryst phases from mantle-derived basalt plus recycled slab seems common to most suites. Thus, the early promise that plate tectonics offered an elegant explanation of andesites as primary melts has proven empty. The arguments made fifty years ago by Bowen, thirty years ago by Kuno, and twenty years ago by Osborn seem essentially correct today even though tectonically uninformed... There is a contribution from the slab. Consequently, undifferentiated melts in the mantle wedge are more siliceous than in asthenosphere elsewhere. Ascent paths are affected by the compressional stress regime. Fractionating minerals are less silicic due to the effects of more dissolved water and oxygen. All three insights are outgrowths of plate tectonics and constitute essential ammendations of older differentiation hypotheses... My principal conclusion is that few orogenic andesites are unfractionated primary melts. Most are derivative, the residues of low pressure crystal fractionation. In some cases they also reflect blending of successive magma batches, interaction with the crust during their ascent, and vapor fractionation. The parental melts are hybrid basalts which contain contributions from both the chemically heterogeneous mantle wedge and subducted oceanic crust. This hybridization does not require contemporaneous subduction, limiting the paleosignificance of orogenic andesites.
However, the relative proportion of slab versus wedge contributions to parental melts, the details of the crystal fractionation process, the frequency of other differentiation mechanisms, and the spatial and temporal variations in all of the above, remain speculations."

Betrachtet man die Abb. 99 nach RINGWOOD (1969), so fällt auf, daß dieser die Andesit-Genese durch partielle Aufschmelzung von Eklogit aus subduzierter ozeanischer Kruste anhand der Plattentektonik erklärt.

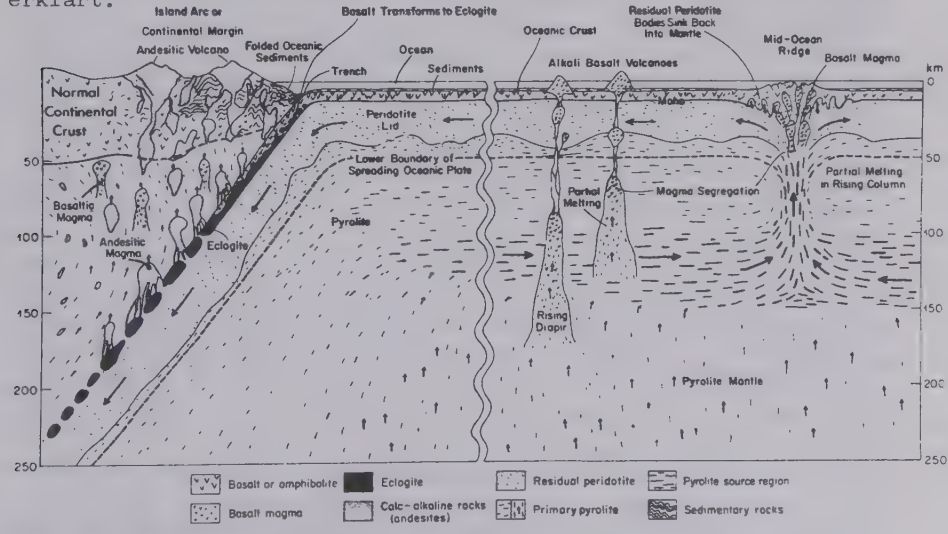


Abb. 99: Plattentektonisches Modell zur Erklärung der Andesit-Genese nach RINGWOOD (1969).

GILLULY (1971:2385 ff) erklärt die Andesit-Genese wie folgt:

"The oceanic crust averages about 1 km or so of sediment overlying 5 or 6 km of tholeiitic basalt... Even though under pressure there would doubtless be phase changes, with production of such minerals as kyanite in the sediments and with the basalts converting to eclogite... Probably they get heated up and drift off to form the magma pockets that many seismologists think characteristic of the low velocity zone - somewhere between 80 or 90 km to, say, 200 to 300 km... Where the magmas produced are dominantly andesitic, as along the coast of both Americas, perhaps the starting material was considerably more siliceous - the tholeiitic basalt of course converted to eclogite in the downgoing oceanic slab. And perhaps, where the volcanics of the coastal zone are still more siliceous, we are dealing with a palingenic magma derived from the remelting of sediment and tholeiite - a parental material already a long way along the differentiation trend when compared to a suite derived from partial melting of pyrolite... We must consider the implications of the missing sediment and basalt when discussing magma generation along the subduction zones; partial melting of a pyrolite is not the answer... It is impossible to find the gigantic volumes of intermediate rocks that would have had to be formed if crystal differentiation of a primary basaltic magma were the dominant process in producing... The Sr^{87}/Sr^{86} ratios of the most andesites are such as to suggest derivation directly from the mantle, without notable contamination by crustal material. But if the material recycled were mainly the low potassium tholeiitic basalt of the ocean floor we could expect the same low strontium ratios in the magma."

WYLLIE (1973:203) sucht ebenfalls nach einer Lösung des Problems:

"I find it difficult to escape the conclusion that most of the water would have been removed from a subducted oceancrust by 100 km depth, either by dehydration, or by melting reactions followed by magma uprise. Yet, as T. H. GREEN (1972) pointed out, it is difficult to explain the origin of andesites by dry fusion along the upper edge of the lithosphere slab, because the dry liquidus temperatures are rather high compared with most estimated slab temperatures in the appropiate depth range; furthermore, the petrology of erupted andesites is generally considered to indicate the involvement of water..."

1979 (512 f) schreibt WYLLIE folgendes: *"The partial fusion of subducted oceanic crust (amphibolite, quarz eclogite, perhaps minor sediments) produces magma of intermediate SiO_2 content... According to T. H. GREEN and RINGWOOD (1968 a), OXBURGH and TURCOTTE (1970), and MARSH and CARMICHAEL (1974), among others, these magmas may rise from depths of 100 - 150 km directly to the surface, as primary andesites and tonalites. Any fractionation at depth is governed by amphibole, pyroxenes and garnet. According to reviews by WYLLIE et al. (1976) and WYLLIE (1977), it is more likely that andesites and tonalites represent the end products of polybaric crystallization and other differentiation processes acting on the initial magmas. RINGWOOD (1975, Chapter 7) developed more complex models, suggesting that the hydrous intermediate-acid magmas generated at depth reacted with overlying mantle peridotite, producing olivine pyroxenite, which rises diapirically and melts at higher levels to yield basaltic andesites and andesites."*

1981 (128) stellt WYLLIE fest: *"Convergent boundaries where oceanic crust is transported downwards, melting to yield magma of intermediate SiO_2 content, and ocean - continent convergent boundaries where the lower part of continental margins are melted to yield rhyolite magma... Subducted H_2O is involved in the generation of andesites."*

EGGLER (1974:313 f) faßt seine Arbeit über die Anwendung des Systems $CaAl_2Si_2O_8$ - $NaAlSi_3O_8$ - SiO_2 - Fe - O_2 - H_2O - CO_2 auf die Genese der kalkalkalinen Gesteine wie folgt zusammen: ..."*Andesites can be produced in many ways, among which is fractionation of basalt magma at low pressures (10 kb or less, equivalently, depths less than 35 km)... A key feature of the models involving iron is the requirement that magnetite be one of the liquidus phases... To maintain the magnetite primary phase field and therefore the calc-alkaline trend, oxygen fugacity need ... only subparallel a buffer such as NNO... Fractionation can extend beyond andesite to more siliceous compositions. Especially high silica contents will be found in daughter melts if they crystallize Na-rich plagioclase and if they contain small moderate amounts of H_2O... In recent years many petrologists have come to feel that andesite generation is more probably a product of partial melting of subducted ocean floor (GREEN and RINGWOOD, 1968; TAYLOR, 1969; HOLLOWAY and BURNHAM, 1972; MCBIRNEY, 1969), perhaps with slight additions of sea-floor sediments (ARMSTRONG, 1971), or, more likely, by hydrous melting of peridotite (YODER, 1969; KUSHIRO, 1972). Perhaps minor amounts of andesite are derived by low-pressure fractionation of basalt involving amphibole (GREEN and RINGWOOD, 1968; HEDGE and LEWIS, 1971) or magnetite subtraction.*"

WEDEPOHL (1975:141) schreibt: "*Andesites could be melts from shallow mantle environments (amphibolites, eclogites etc.).*"

TAYLOR et al. (1969:275) erläutert die Hypothesen über den Ursprung des Andesit-Magmas folgendermaßen: "*The data are difficult to explain by previous hypotheses for the origin of andesite magma, that involve (1) removal of magnetite (2) mixing or assimilation of basic, or acid material, or deep-sea sediments, (3) partial melting of quartz eclogite at high pressures and (4) fractional crystallization from a parent high-Al basalt, under low pressures. A two-stage process of partial melting from pyrolite is consistent with the ferromagnesian trace element abundances.*"

BOETTCHER (1973:223) zieht aus seinen Experimenten folgenden Schluß:

"*High-pressure melting experiments on wet synthetic peridotites disclose that quartz-normative liquids are the products of partial melting at pressures up to about 20 kbar. This suggests that andesites can develop from anatexis of water-bearing continental and oceanic mantle to depths of about 60 km, but this mechanism alone fails to account for the spatial distribution of the orogenic calc-alkaline suite.*
Armed with experimental data on melting and other phase relationships of basic and ultrabasic compositions, together with recent data on the abundances of trace and minor elements in andesites, the most attractive models involve anatexis of mantle peridotite or oceanic crust metamorphosed to amphibolite or eclogite in subducted lithosphere. Melting may also occur in rocks above the hanging wall of the Benioff zone as the result of incorporation of water released by dehydration of the descending slab."

Die experimentellen Versuche GREEN & RINGWOOD's (1966:307) ergaben:

"*A model is presented whereby the calc-alkaline series of igneous rocks is derived by partial melting of quartz eclogite at depths of approximately 100 - 140 km, leaving a residuum of clinopyroxene and garnet. Investigations of the fractional melting and crystallization of synthetic quartz tholeiite, basaltic andesite, andesite, dacite and rhyodacite at high pressures show that under dry conditions the low melting fraction of the eclogite at 25 - 40 kb is of andesitic composition, whereas under wet conditions it is probably granodiorite. At these pressures under dry conditions the andesite liquidus lies in a marked low tempe-*

rature trough between the more basic and more acid compositions. Garnet and clinopyroxene are the liquidus or near-liquidus phases in dry tholeiite, basaltic andesite, while quartz is the liquidus phase in dry dacite and rhyodacite. Under wet conditions at high pressure garnet, not quartz, is the liquidus phase in the dacite."

Weitere Kristallisationsversuche ließen GREEN & RINGWOOD (1967: 481) folgenden Schluß fassen: *"Experimental crystallization of synthetic high-alumina quartz tholeiite and basaltic andesite glasses at 9 - 10 kb under conditions of $pH_2O < p_{load}$ demonstrates that sub-silicic clinopyroxene, orthopyroxene and amphibole are the near-liquidus phases above 1000° C. Amphibole is the dominant phase at temperatures of about 960° C and less. Calcic plagioclase occurs nearer the solidus. In an andesite composition plagioclase and clinopyroxene are the near-liquidus phases at 940° C, joined by orthopyroxene, amphibole and garnet at lower temperatures. Electron microprobe analysis of phases crystallizing from the basalt allows calculation of the composition of liquid fractionates obtained under these conditions. The calculated liquid fractionate compositions follow the calc-alkaline trend and demonstrate that the calc-alkaline igneous rock suite may be derived by the fractional crystallization of basalt under hydrous conditions at 30 - 40 km depth ($pH_2O < p_{load}$) or alternatively by the partial melting of amphibolite under similar conditions. In both cases the crystalline residuum will consist dominantly of amphibole, with subordinate clinopyroxene and orthopyroxene, and possibly minor calcic plagioclase and garnet, depending on the degree of fractionation."*

OSBORN stellt 1969 (307) die Hypothese auf: *"The hypothesis which the author believes best fits the evidence is that of the derivation of andesite through fractional crystallization of a body of primary olivine basalt which rises from the mantle into geosynclinal rocks, and which during fractional crystallization experiences an exchange with the surrounding country rock of water flowing into the magma to a total amount of probably 2 or 3 per cent, and hydrogen flowing out. The small amount of oxygen being added to the magma during fractional crystallization is necessary to develop and maintain the calc-alkaline trend of the liquid and crystal compositions. Complementary bodies of settled crystals remaining at depth in the geosynclinal rocks after the andesite liquid is driven off are alpine peridotites."*

KUSHIRO (1974:298) ermittelt experimentell: *"... that liquids similar in composition to calc-alkaline andesites can be formed by direct partial melting of hydrous upper mantle peridotite at least at 15 kbar (i. e., in the shallow part of the upper mantle) under H_2O-saturated conditions, supporting earlier suggestions on the origin of calc-alkaline andesite magma in the upper mantle (MYSEN et al., 1974; KUSHIRO, 1972; O'HARA, 1965; YODER, 1969). Such H_2O-saturated andesite magma may lose H_2O during its ascent toward the surface, with crystallization of plagioclase (and pyroxene) but without changing significantly its bulk composition except volatile components."*

MIYASHIRO (1974:321) schreibt über die Genese der kalk-alkalinen Vulkanite: *"... The main volcanic rocks in continental margins are andesites, dacites, and rhyolites of the CA (calc-alkalic) series. The proportion of CA series rocks among all the volcanic rocks tends to increase with advancing development of continental-type crust beneath the volcanic arc... The primary magmas of TH (tholeiitic) and CA series would form independently, and the increase in the proportion of CA series magmas would be due to the progressive depletion of the upper mantle wedge overlying a descending slab."*

GREEN (1972:164 f) untersuchte das Kristallisations- bzw. das Schmelzverhalten eines kalkalkalinen Andesites unter hohen Drucken, um so die Frage nach der Genese der Andesite zu klären:

"When the results are viewed in terms of a coherent picture of magma genesis from the down-thrust lithosphere the following points may be made:

(1) The first stage of melting at depths < 80 km involves hydrous melting of the upper part of the lithosphere; subsequent rise of this magma into the overlying pyrolite wedge instigates melting in this wedge, followed by deep-level mixing of magmas, producing members of the island arc tholeiitic series (JAKES and GILL, 1970). Simple melting of the pyrolite wedge cannot explain the trace element distribution in this series (GILL, 1970; JAKES and GILL, 1970). FITTON (1971) proposed that the breakdown and melting of amphibole in a hydrous amphibolitic lithosphere produced the island arc tholeiitic series. Analyses of amphibole in the present work and in GREEN and RINGWOOD (1968) indicate that the K/Na ratio for the amphibole is appropriate for this process. The difficulty with this proposal is that it would involve near complete melting of the lithosphere to produce the island arc tholeiitic series, where the most abundant rock type has a silica mode of 53 % (JAKES and GILL, 1970).

(2) The second stage of melting of the now near-anhydrous lithosphere at > 80 km depth produces a typical calc-alkaline andesite, or, in local areas of hydrous melting (or crystallization), a dacite. Temperatures of >1300° C are required to produce andesite under these conditions. This is high when compared with thermal models for the underthrust lithosphere (OXBURGH and TURCOTTE, 1969; FITTON, 1971).

(3) The final stage of melting occurs at >150 km depth. This stage is still governed by eclogite fractionation, producing silica enrichment in this third period of eruption (GILL, 1970). However, in rising from great depths and passing through maximum thickness of mantle (compared with stages (1) and (2)), there is greater scope for modification in the incompatible element composition (especially K) through processes involving wall-rock reaction, breakdown of phlogopite and the possible presence of an aqueous vapour phase (D. H. GREEN and RINGWOOD, 1967; JAKES and WHITE, 1969; LAMBERT and WYLLIE, 1970). This stage of melting may produce the high K-calc-alkaline series (e. g. JAKES and WHITE, 1969; JAKES and SMITH, 1970)."

Dies sind nur einige von vielen Arbeiten über das Problem der Andesit-Entstehung. Eine kurze, aber treffende Zusammenfassung gibt PICHLER (1981:62): *"Überblickt man die Ansichten über die Magmen-Genese des Vulkanismus im Äolischen Archipel, so bietet sich ein schillerndes, auf allzu viel Hypothesen und zu wenigen Daten beruhendes Bild, das das weltweite, noch weitgehend ungeklärte und im Streit der Meinungen befindliche Problem der Entstehung der "andesitischen" Schmelzen getreulich widerspiegelt."*

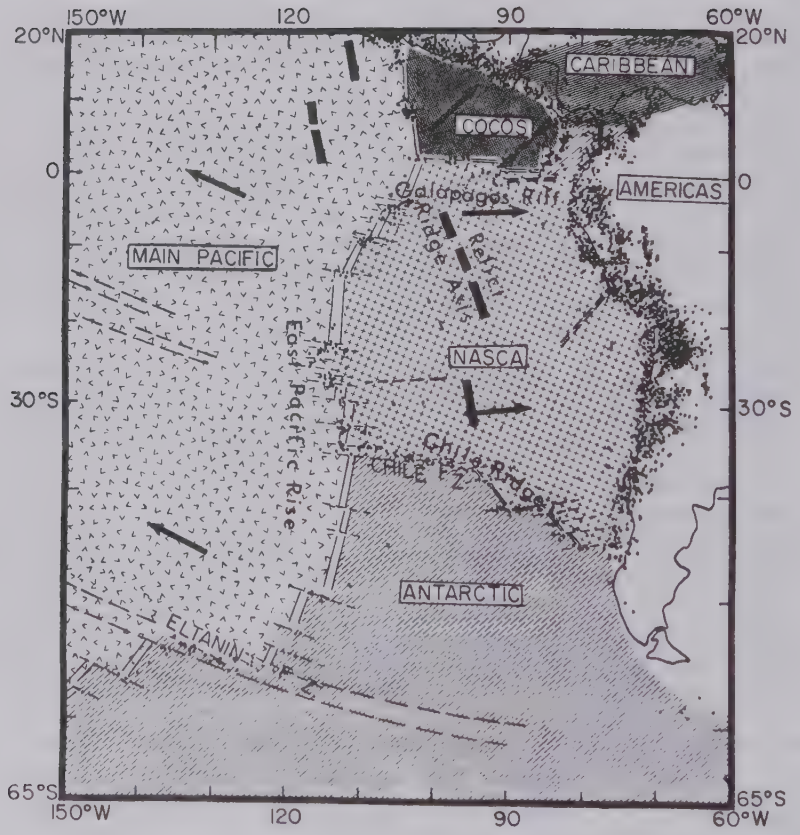


Abb. 100: Aktive und fossile Plattengrenzen und Bewegungsrichtungen der Platten, die für den jungen Vulkanismus in Südamerika verantwortlich sind (HAYES, 1974:582).

6.4.2.2 Das "Andesit-Problem" in Südkolumbien

Zur Erläuterung des "Andesit-Problems" in Süd-Kolumbien seien an dieser Stelle einige wichtige plattentektonische Daten erwähnt: die Konvergenzrate des kolumbisch-ecuadorischen "volcanic arc" beträgt 8,9--8,4 cm/Jahr, die Erdbebenhypozentren liegen in 140--200 km Tiefe, die Entfernung der Vulkanfront von der Plattengrenze beträgt nach GILL (1981:14) 250 km und nach MEISSNER et al. (1976:133) 150 km (?), die Dicke der Kruste liegt nach OCOLA et al. (1975:1690) bei ca. 66 km und nach CASE et al. (1973:2895) bei 45 km, der Einfallswinkel der subduzierten Platte beträgt nach GILL (1981:14) ca. 35°.
Die Abb. 100 nach HAYES (1974:582) zeigt die plattentektonische Situation - beruhend auf geophysikalischen Daten - Südamerikas.

Magmengenetisch wurden in den angrenzenden Gebieten schon Untersuchungen durchgeführt. HÖRMANN & PICHLER (1982:259) nehmen für die känozoischen Vulkanite Nord-Ecuadors eine Bildung durch *"hydrous partial melting of amphibolites and garnet amphibolites of the BIC-type in a subduction zone beneath the Cordilleras at pressures near 20 kbar"* an. Dieser Theorie schließt sich auch KILIAN (1981:63) für den Vulkan Pasochoa/Ecuador an. JAMES et al. (1976:592) kommen bei den Andesiten Süd-Perus zu folgendem Resultat: *"We explain the observed variation of Sr^{87}/Sr^{86} by means of a modified continental volcanic-arc subduction model in which the overlying continental plate (200 to 300 km thick) abuts the downgoing oceanic plate to form a lithosphere-lithosphere subduction boundary to depths in excess of those at which magma is generated. By this model, andesitic magma either is generated by subduction-zone melting of the ancient lithosphere of the South American plate or is derived from the downgoing oceanic plate but then is isotopically re-equilibrated with the overlying continental lithosphere."*
DOSTAL et al. (1977:126)ziehen aus den geochemischen Daten der Vulkanite der Anden (26--28° S) folgenden Schluß auf deren Genese: *"The geochemistry of the rocks cannot be explained by the single-stage models suggested for the origin of the volcanic rocks of orogenic belts, such as partial melting of subducted oceanic lithosphere (amphibolite or eclogite) or of upper mantle peridotite. The data are consistent with a model in which magmas were derived by anatexis of an upper mantle source already enriched in LILE and located above the descending oceanic slab. The spatial chemical variations across the volcanic belt probably reflect primary systematic changes in the composition of the magmas due to a decreasing degree of partial melting with increasing depth and possibly also due to the heterogeneity of the source materials. During the ascent to the surface, magmas were affected by a varying degree of fractional crystallization and possibly by limited crustal contamination."*

MCNUTT et al. (1975:311) kommen aufgrund von Sr^{87}/sr^{86}-Verhältnissen bei den Zentralen Anden (26--29° S) zu dem Ergebnis: *"The younger volcanic rocks may have been produced by basal crustal melting or by partial melting in the mantle overlying the Benioff zone."*

Aufgrund der REE-Daten leiten THORPE et al. (1976:65) die Theorie ab, daß sich das "Andesit-Magma" der nordchilenischen Anden in drei Stufen entwickelt hat: *"(i) initiation of melting at the subduction zone and rise of magmas into the overlying mantle-wedge, which thereby becomes richer in garnet-pyroxene components and large-ion lithophile (LIL) elements, (ii) partial melting of this LIL-enriched garnet pyroxenite material to form andesitic magmas within the mantle wedge, (iii) minor crystal fractionation during rise through the crust."*

Über die Genese der känozoischen "Andesite" Kolumbiens existieren bis heute keine ausführlichen Arbeiten. MURCIA & MARIN (1980: 2) stellen in ihrem Resumen folgende Hypothese auf: *"Los volcanes están siempre asociados a tectónica de fallamiento regional y están relacionados con un márgen continental active producto de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Suramericana. Se nota un aumento en dirreción sur-norte de los contenidos de Si, K y Rb con una disminución de FeO y TiO_2 en la misma dirección, relacionados con una mayor profundidad de la zona de Benioff o un mayor espesor de la corteza.*
El magma primario se interpreta como fusión parcial en la zona de Benioff con introducción de agua en el manto intracortical que está sobre la placa oceánica que subduce, lo que produce una mezcla de magmas que luego se homogeniza y sube a la superficie sufriendo cristalización fraccional. Puede haber contaminación donde hay corteza continental siálica."

Die kalkalkalinen jungen Vulkanite Süd-Kolumbiens sind höchstwahrscheinlich durch eine nasse partielle Aufschmelzung von subduzierter ozeanischer Kruste - mit einer Zusammensetzung, die dem Basic Igneous Complex entspricht - entstanden.
In ihrer Arbeit über die känozoischen kalkalkalinen Vulkanite Ecuadors verwenden HÖRMANN & PICHLER (1982:277) die geophysikalischen Daten Süd-Kolumbiens zur Erklärung der Petrogenese. Aufgrund der nahezu übereinstimmenden geochemischen Daten der Vulkanite Kolumbiens und Ecuadors schließe ich mich der Theorie von HÖRMANN & PICHLER (1982:277) mit der unten folgenden Einschränkung an: *"It is suggested that the metabasalts which underwent partial melting were of the type now present in the Mesozoic to Cretaceous Basic Igneous Complex of Ecuador and Colombia. This rock unit extends from the Pacific coast to the Eastern Cordillera over a distance of about 200 km and consists of olivine tholeiites of MORB composition as well as quartz tholeiites of the island-arc type, the latter being enriched in the elements K, Rb, Ba, Th and U (HÖRMANN et al., in prep.). Such basalt types, transformed into amphibolite or garnet amphibolite, could also occur in the subduction zone beneath the Cordilleras.*

The existence of a Benioff plane was proven by MEISSNER et al. (1976) in adjacent south Colombia where it dips at an angle of about 25° to the east, its upper delimination being 80 - 150 km beneath the Western and Central Cordillera (EC in Ecuador). Seismic foci at depths of 50 - 80 km were related to wedges of oceanic material from older subduction processes (CASE et al., 1973; MEISSNER et al., 1976). However, the hypocenter data set is small and it cannot be decided whether this is true or whether the recent underthrust plate is broken into segments which dip into the mantle at various angles. On the basis of available information the geophysical data do not contradict the opinion that the Cenozoic magmas of the WC and EC are generated by the partial melting of amphibolites at pressures near 20 kbar."

Diese Theorie wird belegt durch das Auftreten von Eklogit- und Granat-Amphibolit-Einschlüssen in einzelnen Vulkaniten der Doña Juana. Eine partielle Aufschmelzung von Mantelmaterial allein scheint mir nicht in Frage zu kommen, da auch eine rechnerisch durchgeführte partielle Aufschmelzung von Mantelmaterial zu keinem befriedigenden Ergebnis geführt hat. Um solch große Mengen an "Andesiten" zu liefern, müßten riesige Mengen von Mantelmaterial partiell aufgeschmolzen werden, was rein energetisch sehr schwierig sein dürfte.
Eine mögliche Reaktion der gebildeten Schmelze mit dem darüberliegenden Mantelmaterial (Peridotit→Granat-Pyroxenit (PAULO et al., 1979:49)) ist aufgrund der geochemischen Daten nicht auszuschließen.

6.4.3 Die alkalinen Vulkanite

Die Entstehung der alkalinen Vulkanite leitet sich unzweifelhaft durch partielle Aufschmelzung von Mantelmaterial ab. GREEN & RINGWOOD (1967:104 f) führten ausgedehnte experimentelle Untersuchungen zur Genese von Basaltmagmen durch und kamen zu folgendem Ergebnis: *"Magmas of alkali olivine basalt and basanite type represent the lower temperature liquids derived by approximately 30 % crystallization of olivine-rich tholeiite at 35--70 km depth... Magmas are considered to be a consequence of partial melting but the composition of a magma is determined not by the depth of partial melting but by the depth at which magma segregation from residual crystalls occurs... Because of the lack of temperature contrast between magma and wall-rock for a body of magma near to its depth of segregation in the mantle, cooling of the magma involves complementary processes of reaction with the wall-rock, including selective melting and extraction of the lowest melting fraction. The "incompatible elements" are probably highly concentrated in the lowest melting fraction of the pyrolite. The production of large overall enrichments in "incompatible elements" in a magma by reaction with and highly selective sampling of large volumes of mantle wall-rock during slow ascent*

of a magma is considered to be a normal, complementary process to crystal fractionation in the mantle. This process has been called "wall-rock reaction". Magma generation in the mantle is rarely a simple, closed-system partial melting process and the isotopic abundances and "incompatible element", abundances of a basalt as observed at the earth's surface may be largely determined by the degree of reaction with the mantle or lower crustal wall-rocks and bear little relation to the abundances and ratios of the original parental mantle material (pyrolite)."

YODER (1976:203) kommt zu dem Ergebnis: *"The drop in velocity and increase in attenuation of seismic waves suggest that some broad regions of the earth's mantle are in a partially (5 - 8 percent) molten state at depths of 70 to 150 km... The initial site of generation may have been several hundred kilometers below, the liquid content of the magma increasing en route upwards."*

GAST (1968:1057) stellt aufgrund der Spurenelement-Zusammensetzung der Alkaligesteine fest: *"Oceanic volcanic rocks can roughly be devided into two major chemical types: (1) tholeiitic or abyssal basalts and (2) alkaline or undersaturated basalts. Trace element abundances in these two types are compared. It is shown that the high abundance of large ion elements in alkaline basalts cannot be consistently explained by fractional crystallization processes. Both the absolute abundance and relative abundance of many large ion elements alkaline magmas are entirely consistent with the hypothesis that these liquids are produced by partial melting (3 - 7 %) of accepted upper mantle mineral assemblages."*

GREEN erklärt den Ursprung der basaltischen und nephelinitischen Schmelzen aufgrund seiner Experimente wie folgt:

(1970 a:52 f) *"The understanding of basalt magma genesis and of the upper mantle composition are mutually dependent problems and both require a close integration of studies of geochemical and geophysical aspects of natural basalts, and experimental studies under simulated (P, T, P_{H_2O}) upper mantle conditions. I have, in this lecture, developed a model of basalt genesis in which the source composition (pyrolite) is regarded as essentially homogeneous in major elements but inhomogeneous or chemically zoned in content of incompatible elements and accessory minerals. The low velocity zone of the upper mantle is interpreted as a region in which, due to the instability of amphibole in pyrolite containing 0,1 - 0,2 % H_2O at depths in excess of 80 - 100 kilometers, there is a very small (5 %) degree of partial melting. The nature of this liquid fraction is highly undersaturated olivine nephelinite or olivine melilitite. Ascent and extrusion of basaltic magmas may occur when the low velocity zone is tapped rather directly by major rift or fault systems. More voluminous magmas, which are also usually products of much greater degrees of partial melting, form when there is diapiric upwelling of material from the low velocity zone to higher levels in the mantle or lower crust (GREEN and RINGWOOD, 1967; GREEN, 1970).*

Magma types ranging from tholeiitic picrite to olivine melilitite and olivine trachybasalt are assigned to a petrogenetic grid in which the depth (pressure) of magma segregation, the degree of partial melting of the source rock, the water content, and approximate temperature of the magma, are specified. While this model can account for variations in major element abundances and normative mineralogy among basalts, there are variations in abundances of K, Rb, Ba, the rare-earths, etc. (incompatible elements), which are inconsistent with a model involving a constant source composition for

all mantle derived basalts. Abundances of incompatible elements in the magmas are partly determined by the source composition at magma segregation but may be further enriched by wall-rock reaction processes in the upper mantle or in the continental crust. Source inhomogeneity appears to be required to account for variations in incompatible element abundances and such inhomogeneity may be characteristic feature within the low velocity zone, the upper part of which is considered to have "enriched" and the lower part a "depleted" pattern of incompatible element contents."

(1970 b:221) *"The characteristic magma derived from either direct partial melting (20 - 25 %) of pyrolite or fractional crystallization of olivine-rich tholeiite at depths of 15 - 35 km is high alumina olivine tholeiite. At 35 - 70 km partial melting of anhydrous pyrolite or fractional crystallization of olivine-rich tholeiite or tholeiitic picrite produces a series of liquids from olivine-rich tholeiite through olivine basalt and alkali olivine basalt to basanite (~25 % Ol, ~5 % Ne). With availability of water in the pyrolite source or during crystal fractionation, the pyrolite solidus is depressed. This produces changes in the subsolidus mineralogy and in the nature of liquids formed by low degrees of partial melting or by extensive crystal fractionation of less undersaturated magmas. Olivine nephelinites and basanites may be generated by small degrees of melting of water-bearing (0,1 - 0,2 %) pyrolite at ~50 - 70 km and olivine melilite nephelinites, olivine-rich nephelinites and olivine-rich basanites form in a similar way, as hydrous magmas at 70 - 100 km depth."*

Weitere Arbeiten über die Entstehung von basaltischen bzw. nephelinitischen Schmelzen wurden von vielen anderen Autoren durchgeführt. Hier seien nur noch O'HARA (1965:39), der ein pikritisches Ausgangsmaterial in verschiedenen Tiefen fraktionieren läßt, KUSHIRO (1979:200), der eine *"partial melting or fractional fusion under different physicochemical conditions"* für den unterschiedlichen Chemismus der Schmelzen verantwortlich macht, WEDEPOHL (1975:141), der Spinell- und Granat-Peridotite partiell aufschmilzt (*"the sequence from nephelinites to common tholeiites being correlated with increasing fractions of partial melt formed at decreasing depth"*), KUSHIRO & KUNO (1963:75), die Nephelin-Basalt, Basanit und Olivinbasalt in mittleren Tiefen und Tholeiit, High-Alumina-Basalt und selten Alkaliolivinbasalt in seichten Tiefen im Mantel durch *"fusion involving incongruent melting of orthopyroxene"* entstehen lassen, YODER & TILLEY (1957 und 1962), GREEN (1973), FREY et al. (1978) und GREEN & RINGWOOD (1964) erwähnt. MIYASHIRO (1974:321) sieht eine Verbindung zwischen kalkalkalinen, alkalinen und tholeiitischen Schmelzen: *"There are three main volcanic rock series in island arcs and active continental margins: calc-alkalic (CA), tholeiitic (TH), and alkalic... The main volcanic rocks in continental margins are andesites, dacites, and rhyolites of the CA series... The rocks of the alkalic series are abundant only in arcs with a very slow rate of plate convergence... Rocks tend to become more alkalic toward the continent... The increasing alkalicity toward the continent would be con-*

evolved not only by the increasing pressure but also by the decreasing percentage of melt in magma generation. The upward migration of alkaline basic material with the depressing of the deeper mantle may have contributed to the increase of alkalicity toward the continent."

Die alkalinen Vulkanite Süd-Kolumbiens sind durch eine unterschiedliche partielle Aufschmelzung von Mantelmaterial in verschiedenen Tiefen entstanden. In Kapitel 6.3.2 werden anhand einer per Rechenprogramm durchgeführten partiellen Aufschmelzung die alkalinen Gesteine von einem Granat-Lherzolith abgeleitet. Vergleicht man diese Ergebnisse mit der Literatur, so zeigt sich eine recht gute Übereinstimmung der Daten. Eine Bestätigung dieser Theorie stellt auch der prozentuale Anteil der partiellen Schmelze dar: der Anteil an partieller Schmelze nimmt mit steigendem SiO_2- und abnehmendem Alkalien-Anteil stetig zu:

Mafitischer Olivin-Nephelinit	(12 %)
Nephelin-Basanit	(13 %)
Mela-Olivin-Nephelin-Tephriphonolith	(16 %)
Alkaliolivinbasalt	(15 %).

6.4.4 Die rhyodazitische Lava aus dem Vulkangebiet El Pasto

Hierbei handelt es sich um eine in Süd-Kolumbien bisher einmalige Lava (Probe 102). Sie besitzt einen außergewöhnlich hohen K_2O-Gehalt (3,53 %) und einen relativ hohen Al_2O_3-Wert (17,18 %). Dadurch bedingt, weist sie einen normativen Corundit-Anteil von 15,3 % auf. Da sie im Dünnschliff bild deutliche Anzeichen einer fortgeschrittenen Verwitterung zeigen, kann davon ausgegangen werden, daß das Gestein im frischen Zustand einen höheren Anteil an Alkalien und SiO_2 gehabt hat. Dadurch fällt es schwer, für diesen Sonderfall eine passende Erklärung für die Magmengenese zu finden.
Aufgrund des hohen Alkali-Gehaltes, der niedrigen Mg- und Ni-Werte und dem sehr hohen Th-Gehalt (24,7 ppm) muß von einer partiellen (?) Anatexis der sialischen Kruste ausgegangen werden, wobei möglicherweise auch Biotit (Paragneis ?) aufgeschmolzen wurde. Da die Analyse einen sehr hohen Gehalt an Fe_2O_3 besitzt

7. Vergleich mit anderen jungen Vulkanit-Serien Süd- und Zentral-Amerikas sowie Mexikos

Da ein Vergleich mit anderen jungen Vulkaniten zum Beispiel schon in Kapitel 6.1 durchgeführt wurde, erfolgt hier nur ein kurzer Überblick über einige in der Literatur aufgeführte junge Vulkanit-Serien Süd- und Zentral-Amerikas und Mexikos.

Auf einen Vergleich mit weiteren Vulkaniten anderer Orogen-Gebiete wird verzichtet, da dies ausführlich in GILL (1981) nachzulesen ist.

Da sich unterschiedliche geochemische Sachverhalte am einfachsten in Diagrammen darstellen lassen, werden hauptsächlich QAPF-, K_2O-, $K_2O + Na_2O$ gegen SiO_2 und AFM-Diagramme als Vergleich herangezogen.

7.1 Junge Vulkanit-Serien Süd-Amerikas

7.1.1 Ecuador

Die jungen Vulkanite Ecuadors zeigen deutliche Unterschiede zwischen den Proben der West- und der Ost-Kordillere (SCHMITT, 1981:262 ff) und dem Subandinen Gebiet (HÖRMANN & PICHLER, 1982: 266 ff). Dies kommt in allen Diagrammen (Abb. 101--112) zum Ausdruck. In Süd-Kolumbien zeigen sich keine so extremen Unterschiede im Chemismus der Vulkanite der West- und der Zentral-Kordillere.

7.1.2 Peru

Da die darstellenden Punkte (Abb. 113) nach der NIGGLI-Äquivalent-Norm berechnet wurden, ist ein direkter Vergleich mit den anderen QAPF-Doppeldreiecken nicht möglich, doch sind die durch die verschiedenen Normberechnungen auftretenden Unterschiede nicht allzu ausschlaggebend. Die Coropuna-Vulkanite (WEIBEL et al., 1978:250) entsprechen in etwa den Vulkaniten der Ost-Kordillere Ecuadors und den meisten Vulkaniten Süd-Kolumbiens.

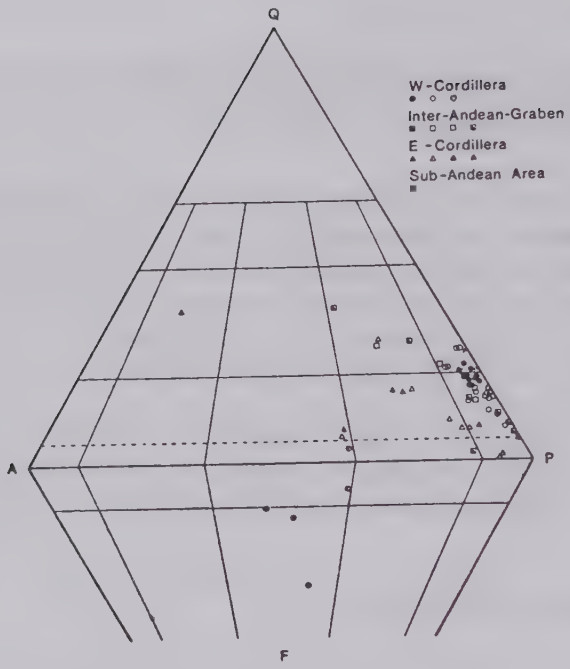


Abb. 101: Die jungen Vulkanite Ecuadors im QAPF-Doppeldreieck (HÖRMANN & PICHLER, 1982:266).

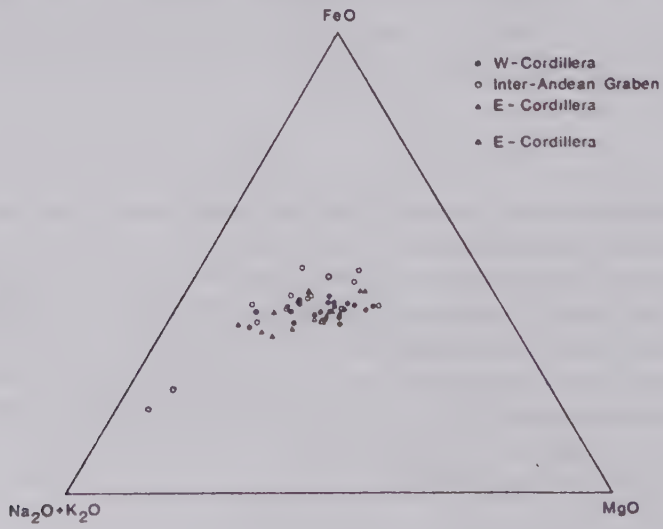


Abb. 102: Die jungen Vulkanite Ecuadors im AFM-Dreieck (HÖRMANN & PICHLER, 1982:267).

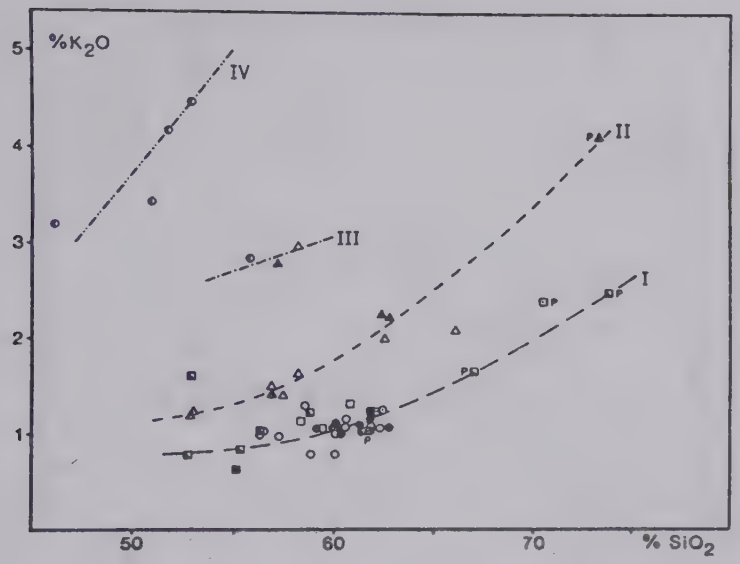


Abb. 103: Die jungen Vulkanite Ecuadors im Diagramm K_2O gegen SiO_2 (HÖRMANN & PICHLER, 1982:267).

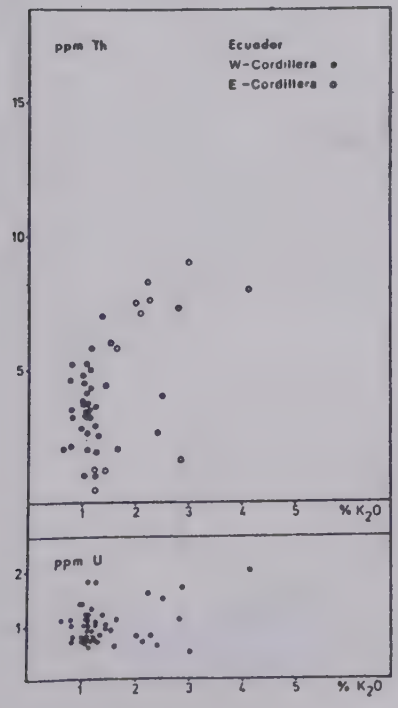
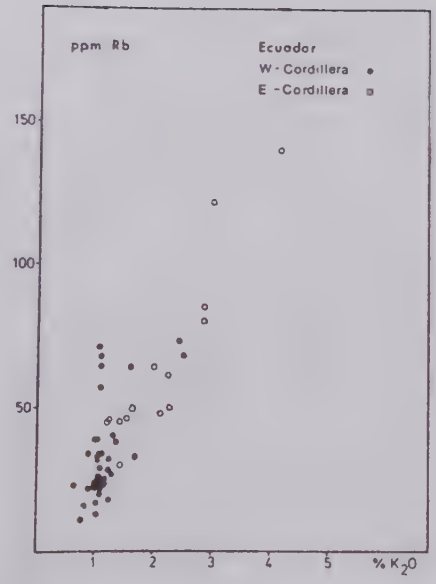
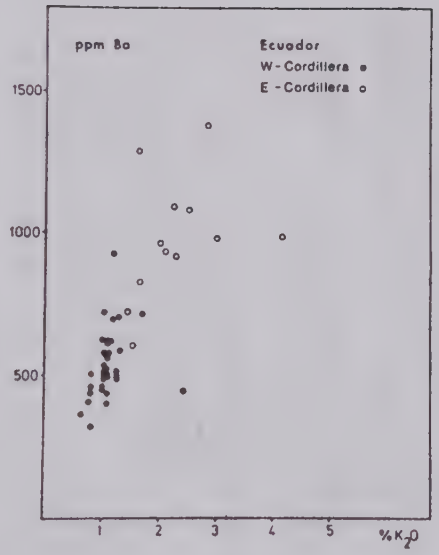


Abb. 104: Die jungen Vulkanite Ecuadors im Diagramm Thorium gegen K_2O und Uran gegen K_2O (HÖRMANN & PICHLER, 1982:272).





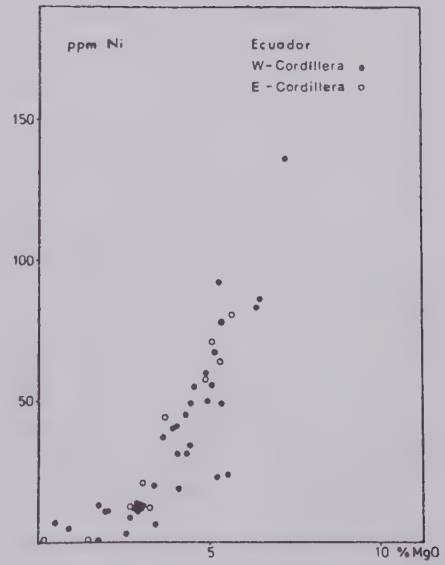
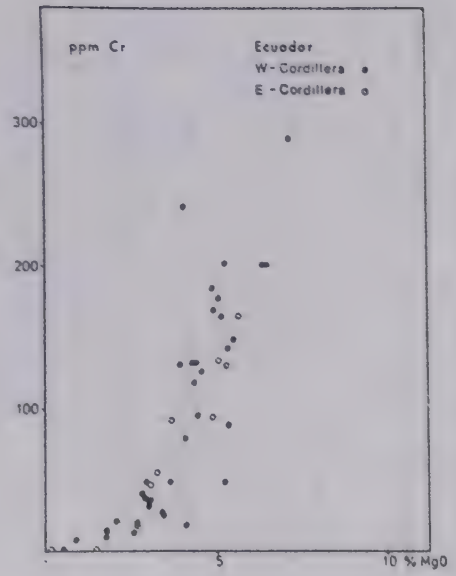
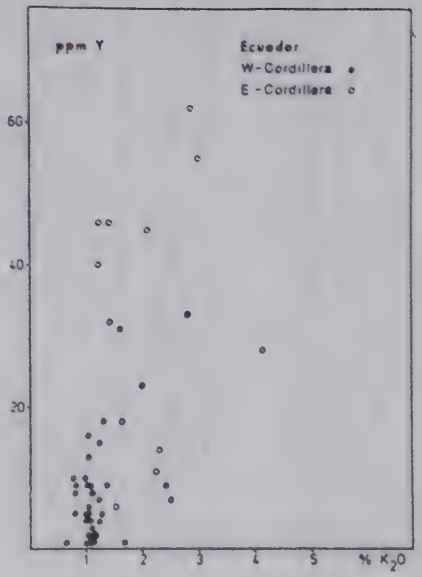


Abb. 105--107: Darstellung der jungen Vulkanite Ecuadors in den Diagrammen Rb und Ba gegen K_2O und Ni gegen MgO (HÖRMANN & PICHLER, 1982:271 und 273).





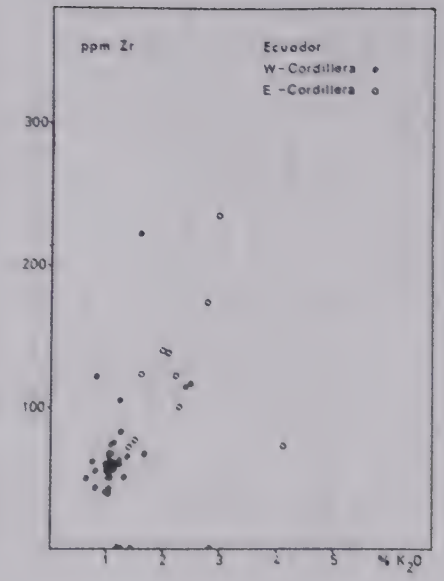


Abb. 108--110: Darstellung der jungen Vulkanite Ecuadors in den Diagrammen Cr gegen MgO, Y und Zr gegen K_2O (HÖRMANN & PICHLER, 1982:272--273).

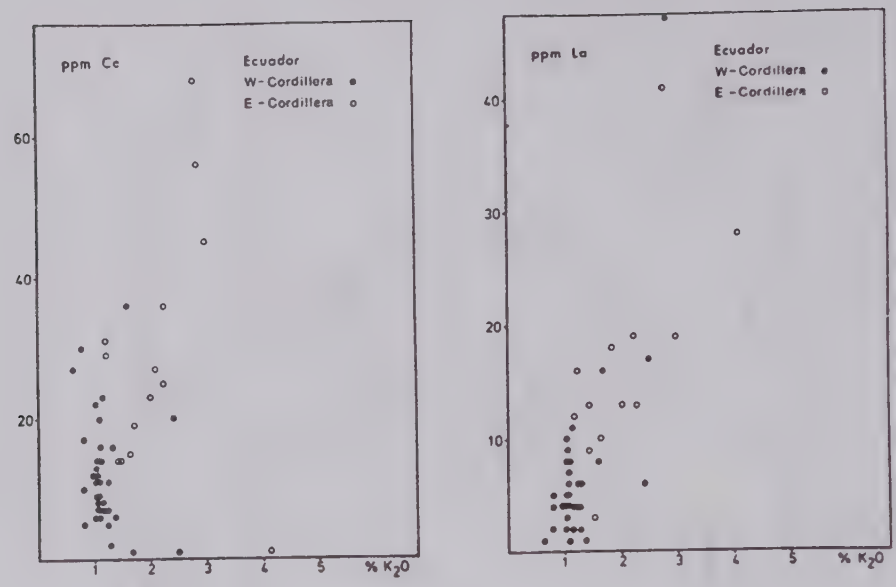


Abb. 111--112: Darstellung der jungen Vulkanite Ecuadors im Diagramm Ce und La gegen K_2O (HÖRMANN & PICHLER, 1982: 271).

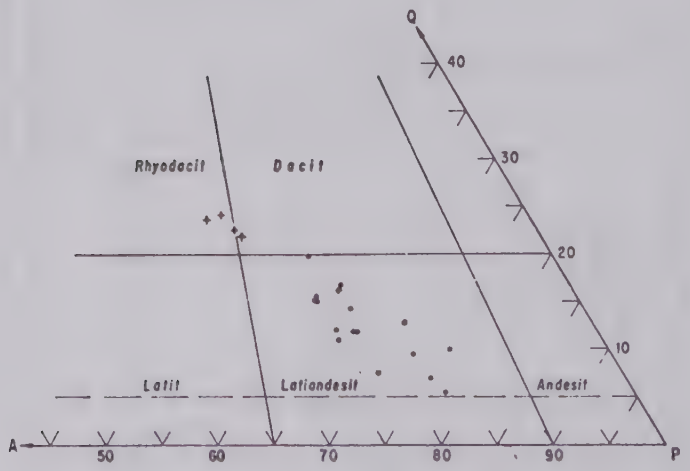


Abb. 113: Die jungen Vulkanite Perus im QAP-Dreieck (WEIBEL et al., 1978:250).

7.1.3 Bolivien

Im QAPF-Doppeldreieck (Abb. 114)(KUSSMAUL et al., 1977:91) zeigt sich gegenüber den kolumbischen, ecuadorischen und peruanischen Vulkaniten eine deutliche Verschiebung der darstellenden Punkte in Richtung der Q- und A-reicheren Seite. Dieses Verhalten läßt auf eine viel stärkere Beeinflussung der sialischen Kruste auf die Magmengenese schließen.

7.1.4 Chile

Die chilenische "Andesit"-Formation (Abb. 115--116) ähnelt der süd-kolumbischen, doch fehlen hier die quarz-reicheren, dacitischen Typen. Die Rhyolith-Formation schließt lückenlos an die "Andesit"-Formation an, was in Kolumbien nicht der Fall ist. So scheinen hier die "Andesite" und Rhyolithe genetisch miteinander im Zusammenhang zu stehen (PICHLER & ZEIL, 1969: 165 ff).

7.1.5 Argentinien

In Abb. 117--119 nach HÖRMANN et al. (1973:411 ff) sind die jungen Vulkanite NW-Argentiniens und S-Boliviens dargestellt. Die Vulkanite NW-Argentiniens heben sich von allen bisher gezeigten Gesteinen erheblich ab. Die Laven besitzen nur intermediäre SiO_2-Gehalte (Latite), wohingegen die Ignimbrite hohe SiO_2-Gehalte (Rhyodacite) besitzen bei annähernd gleichem A/P-Verhältnis (Abb. 117). Diese alkalinen Gesteine (Latite) sind isolierte Vorkommen, die an junge Bruchzonen gebunden sind (HÖRMANN et al., 1973:397).

7.2 Junge Vulkanit-Serien Zentral-Amerikas und Mexikos

Diese Vulkanite unterscheiden sich in ihren Chemismen von Staat zu Staat (Abb. 120--122); vergleicht man die Gesamtheit aller Analysen (Abb. 123) mit der Süd-Amerikas, so fallen keine merklichen Unterschiede auf.
Eine Ausnahme stellt Abb. 122 dar, da in ihr alkaline Vulkanite abgetragen sind, die wiederum einen von Kolumbien differenten Chemismus aufweisen (PICHLER & WEYL, 1973:372 ff).

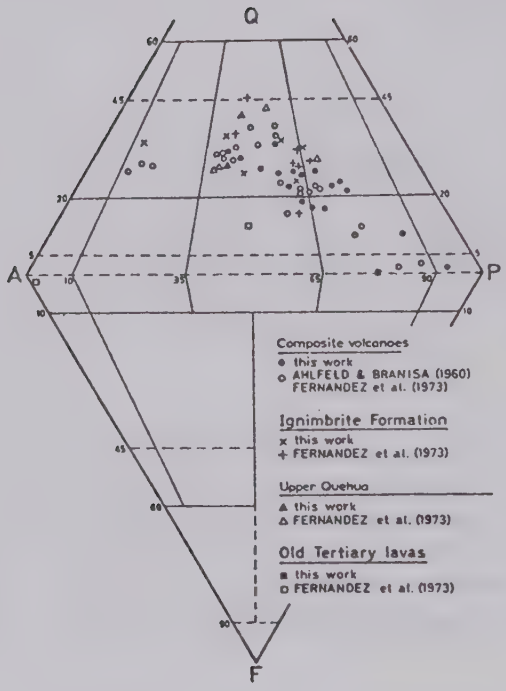


Abb. 114: Die jungen Vulkanite Boliviens im QAPF-Doppeldreieck (KUSSMAUL et al., 1977:91).

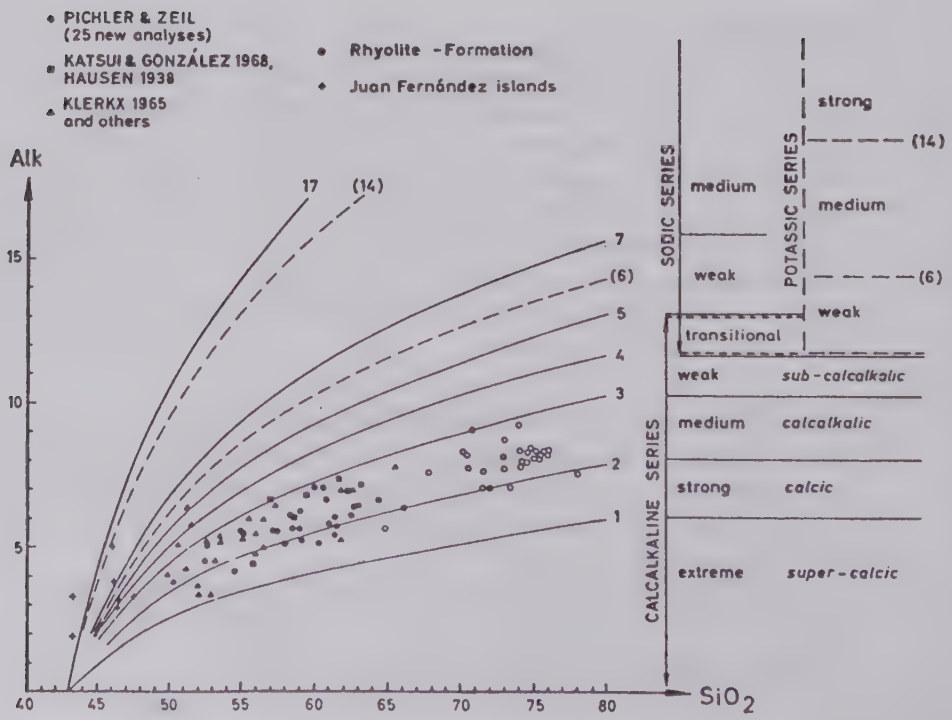


Abb. 115: Die jungen Vulkanite Chiles und Perus im Vergleich mit den Juan Fernández-Inseln (PICHLER & ZEIL, 1969:171).

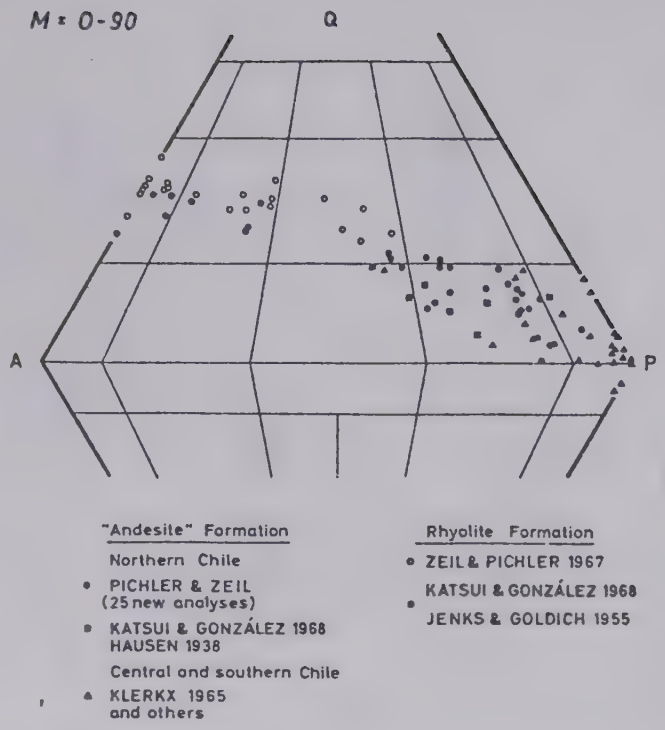


Abb. 116: Die Vulkanite der Andesit- und der Rhyolith-Formation in Chile und Peru im QAPF-Doppeldreieck (PICHLER & ZEIL, 1969:171).

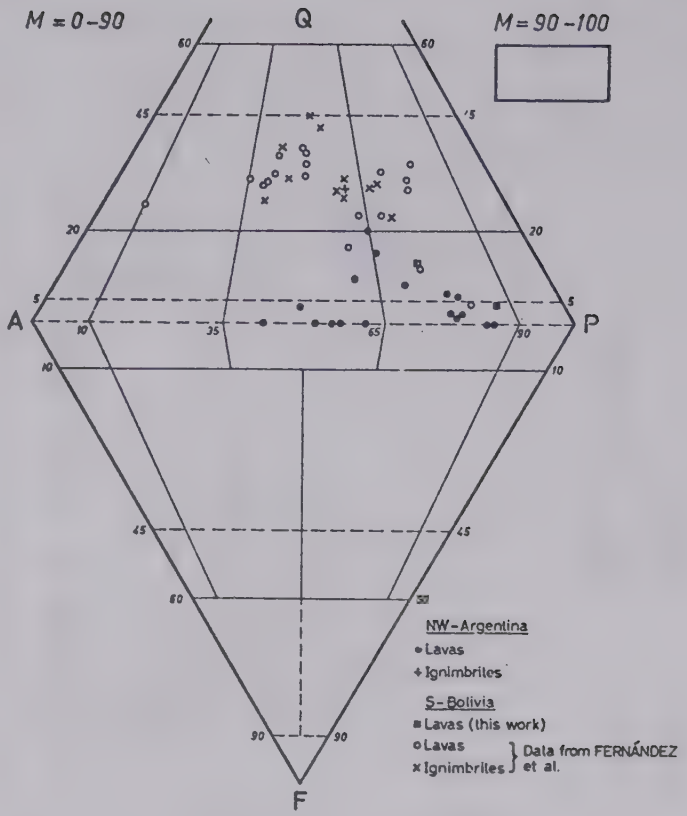


Abb. 117: Die jungen Vulkanite NW-Argentiniens und S-Boliviens im QAPF-Doppeldreieck (HÖRMANN et al., 1973:411).

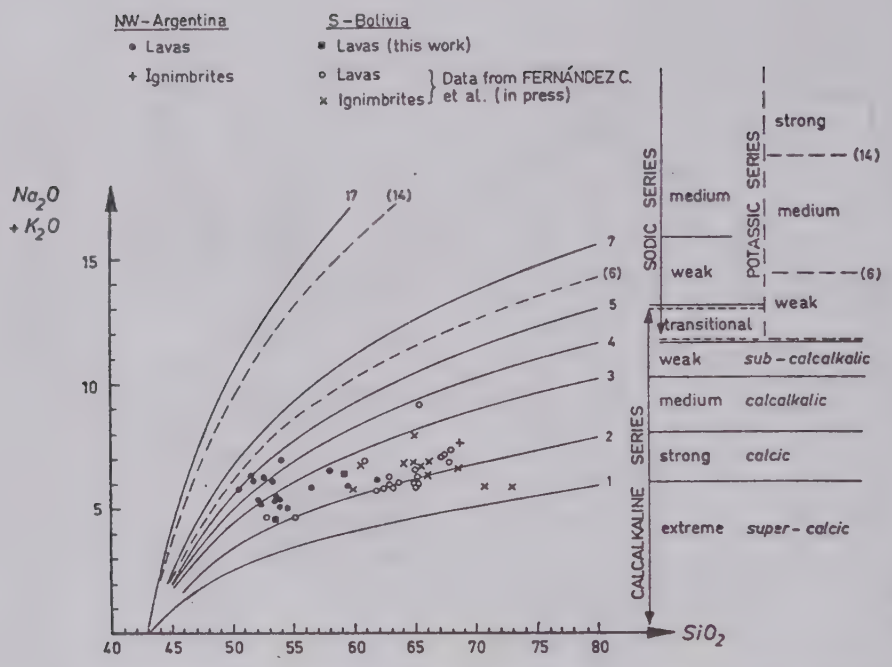


Abb. 118: Die jungen Vulkanite NW-Argentiniens und SW-Boliviens im Diagramm $Na_2O + K_2O$ gegen SiO_2 (HÖRMANN et al., 1973:412).

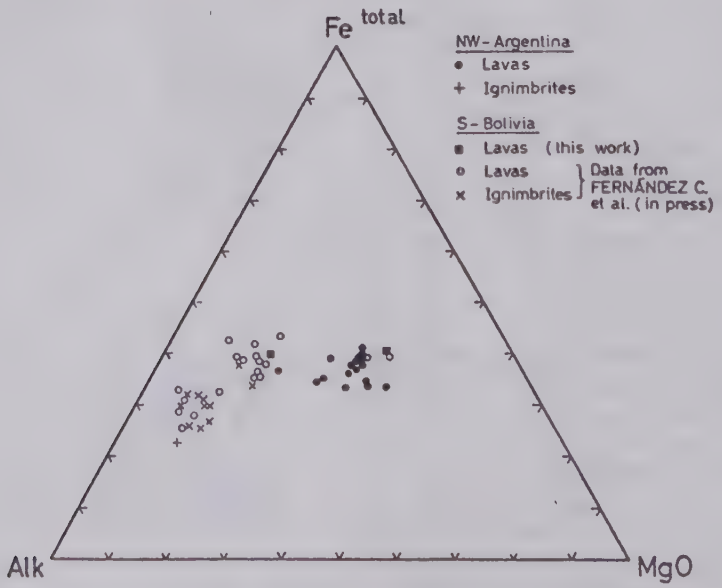


Abb. 119: Die jungen Vulkanite NW-Argentiniens und SW-Boliviens im AFM-Diagramm (HÖRMANN et al., 1973:413).

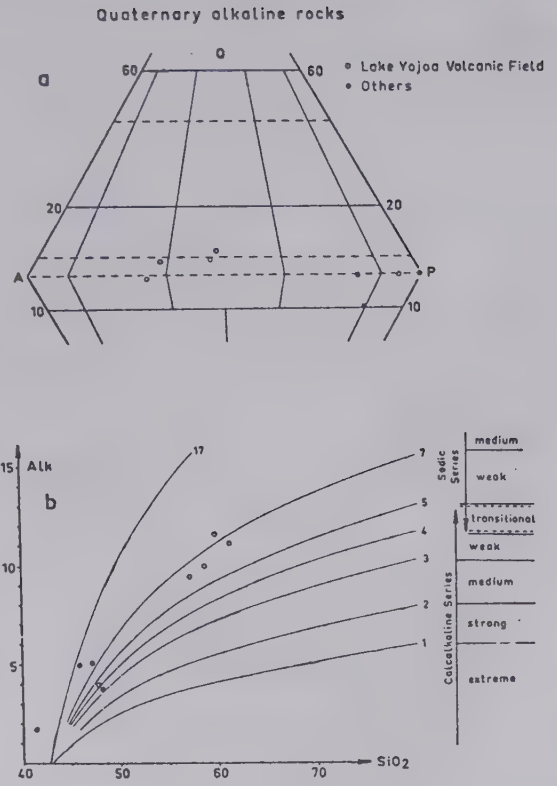


Abb. 120 a und b: Darstellung der quartären alkalinen Vulkanite im QAPF-Doppeldreieck und im Sippendiagramm Alk gegen SiO_2 (PICHLER & WEYL, 1973:386).

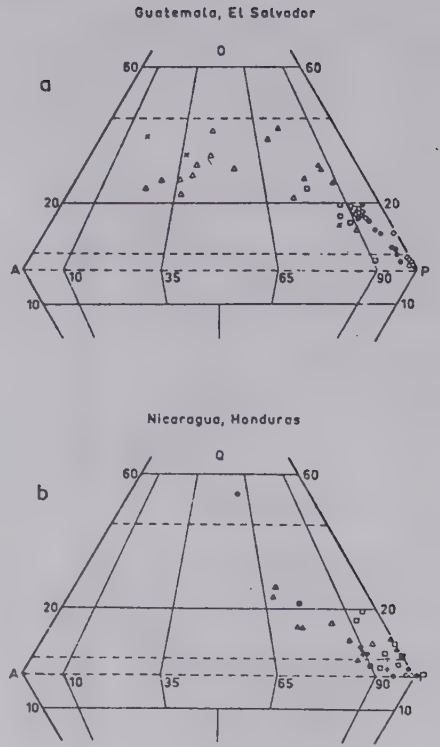
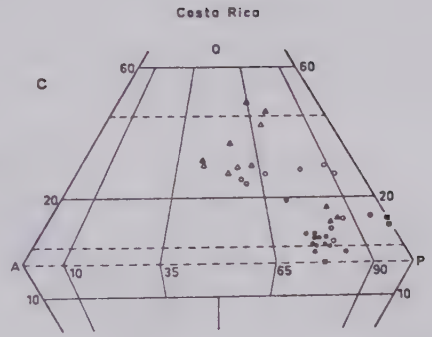
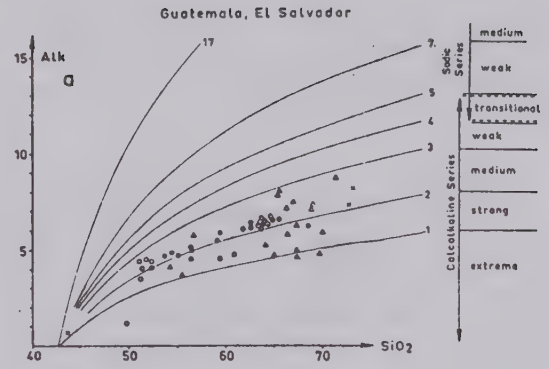
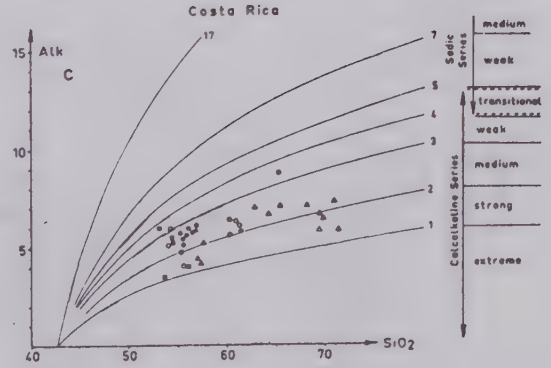


Abb. 121 a und b: Darstellung der mittelamerikanischen Vulkanite im QAPF-Doppeldreieck (PICHLER & WEYL, 1973:377).







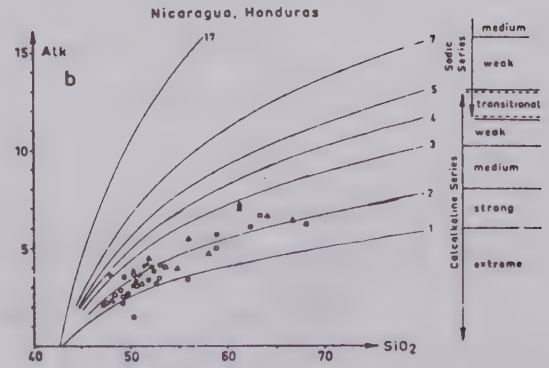


Abb. 121 c und 122 c: Darstellung der jungen Vulkanite Costa Ricas im QAPF-Doppeldreieck und im Diagramm Alk gegen SiO_2 (PICHLER & Weyl, 1973:377 und 379).

Abb. 122 a und b: Darstellung der mittelamerikanischen Vulkanite im Diagramm Alk gegen SiO_2 (PICHLER & WEYL, 1973:379).

Vergleicht man die 369 mittelamerikanischen und 292 mexikanischen Vulkanit-Analysen (Abb. 123--124) mit den süd-kolumbischen, so zeigen die mexikanischen Vulkanite eine recht gute Übereinstimmung der Daten. Die mittelamerikanischen Vulkanite besitzen wie die chilenischen Proben Übergangsglieder (Rhyodacite und Rhyolithe) zwischen den kalkalkalinen Daciten und den Alkalirhyolithen (PICHLER & STENGELIN, 1977:275).

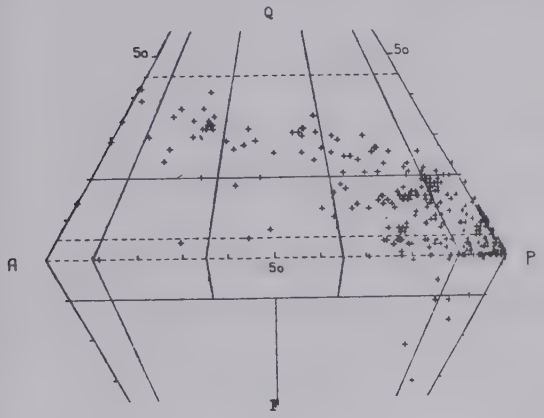


Abb. 123: Verteilung von 369 mittelamerikanischen Vulkanit-Analysen im QAPF-Doppeldreieck (PICHLER & STENGELIN, 1977:275).

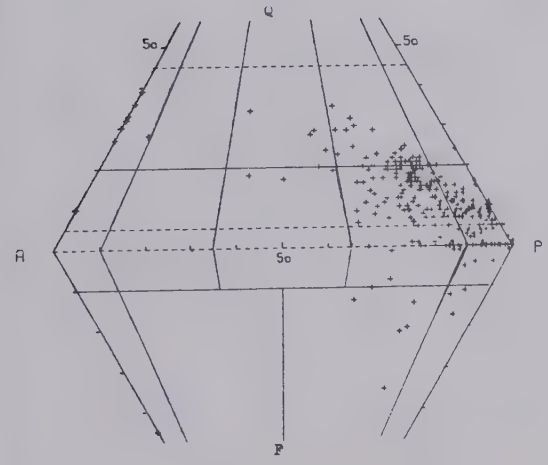


Abb. 124: Verteilung von 292 mexikanischen Vulkanit-Analysen im QAPF-Doppeldreieck (PICHLER & STENGELIN, 1977:275).

8. Literaturverzeichnis

AHLFELD, F. & BRANISA, L. (1960): Geología de Bolivia.- Inst. Petrol. Boliviano, La Paz.

ARMSTRONG, R. L. (1971): Isotopic and chemical constraints on models of magma genesis in volcanic arcs.- Earth and planet. Sci. Lett., 12: 137 - 142.

BARTH, T. F. W. (1962): The feldspar geologic thermometers.- Norsk. Geol. Tidskr., 42: 330 - 339.

BERGT, W. (1899): Die älteren Massengesteine, kristalline Schiefer und Sedimente.- In: REISS, W. & STÜBEL, A.: Geologische Studien in der Republik Colombia. II.- Asher, Berlin.

BOETTCHER, A. L. (1973): Volcanism and orogenic belts.- The origin of andesites.- Tectonophysics, 17: 223 - 240.

BOUSSINGAULT, M. & ROULIN (1949): Viajes cientificos à los Andes Ecuatoriales. Sobre los terremotos de los Andes.- Paris.

BOWEN, N. L. & SCHAIRER, J. F. (1935): The system MgO - FeO - SiO_2. - Amer. J. Sci. (5), 29: 151 - 217.

BÜRGL, H. (1967): The orogenesis in the Andean system of Colombia.- Tectonophysics, 4: 429 - 443.

BURRI, C., PARKER, R. L. & WENK, E. (1967): Die optische Orientierung der Plagioklase.- Birkhäuser, Basel.

CAMPBELL, C. J. (1974): Colombian Andes.- Spec. Publ. geol. Soc. London, 4: 705 - 724.

CASE, J. E., BARNES, J., PARIS, Q. C., GONZALES, I. H. & VINA, A. (1973): Trans-Andean geophysical profile, Southern Colombia.- Bull. geol. Soc. Amer., 84: 2895 - 2904.

CODAZZI, R. L. (1926): Notas geograficas geologicas.- Bogotà.

DEER, W. A., HOWIE, R. A. & ZUSSMAN, J. (1978): Rock-forming minerals. 2A: Single-chain silicates.- Longman, London.

DOSTAL, J., ZENTILLI, M., CAELLES, J. C. & CLARK, A. H. (1977): Geochemistry and origin of volcanic rocks of the Andes (26° - 28°).- Contr. Mineral. Petrol., 63: 113 - 128.

EGGLER, D. H. (1972): Amphibole stability in H_2O - undersaturated calc-alkaline melts.- Earth and planet. Sci. Lett., 15: 28 - 34.

-- (1974): Application of a portion of the system $CaAl_2Si_2O_8$-$NaAlSi_3O_8$ - SiO_2 - MgO - Fe - O_2 - H_2O - CO_2 to genesis of the calc-alkaline suite.- Amer. J. Sci., 274: 297 - 315.

EMMONS, R. C. & GATES, R. M. (1943): Plagioclase twinning.- Bull. geol. Soc. Amer., 54: 287 - 304.

ESTRADA M., A. (1972): Geology and plate tectonics of the Colombian Andes.- Diss. Univ. Stanford/California.

EWART, A. (1963): Petrology and petrogenesis of the Quaternary pumice ash in the Taupo Area, New Zealand.- J. Petrol., 4: 392 - 431.

FERNANDEZ, A., HÖRMANN, P. K., KUSSMAUL, S., MEAVE, J., PICHLER, H. & SUBIETA, T. (1973): First petrologic data on young volcanic rocks of SW-Bolivia.- Tscherm. mineral. petrogr. Mitt., 19: 149 - 172.

FITTON, J. G. (1971): The generation of magmas in island arcs.- Earth and planet. Sci. Lett., 11: 63 - 67.

FLETCHER, A. G. (1977): Atlas de Colombia.- Litografía Arco, Bogotà.

FOCHLER-HAUKE, G. (1981): Der Fischer-Weltalmanach 1982.- Fischer, Frankfurt a. M.

FORERO, M. J. (1956): Volcanes de Colombia.- Bol. Soc. geogr. Colombia, 14: 43 - 49.

FREY, F. A., GREEN, D. H. & ROY, S. D. (1978): Integrated models of basalt petrogenesis: a study of quartz tholeiites to olivine melilites from South Eastern Australia utilizing geochemical and experimental petrological data.- J. Petrol., 19: 463 - 513.

FRIEDLAENDER, I. (1927 a): Meteorologisches Observatorium in Popayan. Beschreibung des Vulkans Puracé und Umgebung.- Z. Vulkanol., 10: 173 - 176.

-- (1927 b): Über einige Vulkane Columbiens. I. Teil.- Z. Vulkanol., 10: 159 - 172.

-- (1927): Über einige Vulkane Columbiens. II. Teil.- Z. Vulkanol, 10: 223 - 231.

-- (1927): "Tektite" von Columbien.- Cbl. Mineral. Paläont. (Abt. A), 2: 67 - 69.

GAST, P. W. (1968): Trace element fractionation and the origin of tholeiitic and alkaline magma types.- Geochim. cosmochim. Acta, 32: 1057 - 1086.

GILL, J. (1970): Geochemistry of Viti Levu, Fiji and its evolution as an island arc.- Contr. Mineral. Petrol., 26: 179 - 203.

-- (1981): Orogenic andesites and plate tectonics.- Springer, Berlin/ Heidelberg/ New York.

GILLULY, J. (1971): Plate tectonics and magmatic evolution.- Bull. geol. Soc. Amer., 82: 2383 - 2396.

GREEN, D. H. (1970 a): The origin of basaltic and nephelinitic magmas.- Trans. Leicester Lit. phil. Soc., 64: 28 - 54.

-- (1970 b): A review of experimental evidence on the origin of basaltic and nephelinitic magmas.- Phys. Earth planet. Interiors, 3: 221 - 235.

-- (1973): Conditions of melting of basanite magma from garnet peridotite.- Earth and planet. Sci. Lett., 17: 456 - 465.

-- (1973): Contrasted melting relations in a pyrolite upper mantle under mid-oceanic ridge, stable crust and island arc environments.- Tectonophysics, 17: 285 - 297.

GREEN, D. H. & RINGWOOD, A. E. (1964): Fractionation of basalt magmas at high pressures.- Nature, 201: 1276 - 1279.

-- & -- (1967): The genesis of basaltic magmas.- Contr. Mineral. Petrol., 15: 103 - 190.

GREEN, T. H. (1972): Crystallization of calc-alkaline andesite under controlled high-pressure hydrous conditions.- Contr. Mineral. Petrol., 34: 150 - 166.

GREEN, T. H. & RINGWOOD, A. E. (1966): Origin of the calc-alkaline igneous rock suite.- Earth and planet. Sci. Lett., 1: 307 - 316.

-- & -- (1967): Crystallization of basalt and andesite under high pressure hydrous conditions.- Earth and planet. Sci. Lett., 3: 481 - 489.

-- & -- (1968): Genesis of the calc-alkaline igneous rock suite.- Contr. Mineral. Petrol., 18: 105 - 162.

HANTKE, G. & PARODI, I. A. (1966): Colombia, Ecuador and Peru.- Catalogue of the active volcanoes of the world including solfatara fields, 19.

HAUSEN, H. (1938): Zur Kenntnis der Magmengesteine der chilenischen Atacama-Wüste.- N. Jb. Mineral. Geol. Paläont., Beilbd. A, 73: 151 - 238.

HAYES, D. E. (1974): Continental margin of Western South America.- In: BURK, C. A. & DRAKE, C. L. (eds.): The geology of continental margins, 581 - 590.- Springer, Berlin/ Heidelberg/ New York.

HEDGE, C. E. & LEWIS, J. F. (1971): Isotopic composition of strontium in three basalt-andesite centers along the Lesser Antilles arc.- Contr. Mineral. Petrol., 32: 39 - 47.

HENTSCHEL, H. (1963): Die Bildung der Bimsstein-Tuffe und das Problem der Ignimbrite.- Bull. volcanol., 25: 291 - 313.

HETTNER, A. (1893): Die Anden des westlichen Columbiens. (Eine orographische Skizze).- Peterm. geogr. Mitt., 1893: 129 - 136.

HOLLOWAY, J. R. & BURNHAM, C. W. (1972): Melting relations of basalt with equilibrium water pressure less than total pressure.- J. Petrol., 13: 1 - 29.

HÖRMANN, P. K. & PICHLER, H., (1982): Geochemistry, petrology and origin of the Cenozoic volcanic rocks of the northern Andes in Ecuador.- J. Volcanol. geotherm. Res., 12: 259 - 282.

HÖRMANN, P. K., PICHLER, H. & STENGELIN, R. (in prep.): Major element characteristics of the Basic Igneous Complex in Colombia and Ecuador.

HÖRMANN, P. K., PICHLER, H. & ZEIL, W. (1973): New data on the young volcanism in the Puna of NW-Argentina.- Geol. Rdsch., 62: 397 - 418.

HUMBOLDT, A. v. (1809): Über die Vulkane in der Anden-Cordillere.- Leonhards Taschenb., 3: 258 - 259.

-- (1823): Geognostischer Versuch über die Lagerung der Gebirgsarten in beiden Erdhälften. (Deutsch bearb. von K. C. v. Leonhard).

IVANOV, B. V., KADIK, A. A. & MAKSIMOV, A. P. (1978): Physicochemical conditions of crystallization of andesites of the Klyuchevskaya Group of Volcanoes (Kamchatka).- Geochem. int., 15: 100 - 115.

JAKES, P. & GILL, J. (1970): Rare earth elements and the island arc tholeiitic series.- Earth and planet. Sci. Lett., 9: 17 - 28.

JAKES, P. & SMITH, I. E. (1970): High potassium calc-alkaline rocks from Cape Nelson, Eastern Papua.- Contr. Mineral. Petrol., 28: 259 - 271.

JAKES, P. & WHITE, A. J. R. (1969): Structure of the Melanesian arcs and correlation with distribution of magma types.- Tectonophysics, 8: 223 - 236.

JAMES, D. E., BROOKS, C. & CUYUBAMBA, A. (1976): Andean Cenozoic volcanism: Magma genesis in the light of strontium isotopic composition and trace-element geochemistry.- Bull. geol. Soc. Amer., 87: 592 - 600.

JENKS, W. F. & GOLDICH, S. S. (1955): Rhyolitic tuff flows in Southern Peru.- J. Geol., 64: 156 - 172.

KATSUI, Y. & GONZALEZ, F. O. (1968): Geologia del area neovolcanica de los Nevados de Payachata.- Univ. de Chile, Fac. Cienc. Fis. Mat., Depart. Geol., Publ. 29.- Chile.

KEHRER, W. (1939): Zur Geologie der südlichen Zentral- und Ostkordillere der Republik Kolumbien.- N. Jb. Mineral. Geol. Paläont., (B) Beilbd. 80: 1 - 30.

KHITAROV, N. I., NAGAPETYAN, L. B. & LEBEDEV, Ye. B. (1969 a): An experimental study of the crystallization of acid melts.- Geochem. int., 6: 237 - 250.

-- , -- & -- (1969 b): Crystallization of dacitic melt under water-vapor pressures from 500 to 3000 kg/cm^2.- Geochem. int., 6: 6 - 11.

KILIAN, R. (1981): Die Vulkanite des Vulkans Pasochoa (Ecuador).- Diplomarb. Tübingen.

KLERKX, J. (1965): Etude petrologique de laves des volcans Villarica, Calbuco, Osorno, Llaima (Chili central).- Ann. Soc. géol. Belg., 88: 451 - 470.

KROONENBERG, S., PASTANA, J. & PESSOA, M. R. (1980): Ignimbritas pliopleistocenicas en el suroeste del Huila, Colombia y su influencia en el desarrollo morfologico.- Semin. Cuaternario de Colombia, 1.- Bogotâ.

KUDO, A. M. & WEILL, D. F. (1970): An igneous plagioclase thermometer.- Contr. Mineral. Petrol., 25: 52 - 65.

KÜCH, R. (1892): Die vulkanischen Gesteine.- In: REISS, W. & STÜBEL, A.: Reisen in Südamerika. Geologische Studien in der Republik Colombia. I. Petrographie.- Asher, Berlin.

KUNO, H. (1933): On silica minerals occurring in the groundmass of common Japanese volcanic rocks.- Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo, 11: 382 - 390.

-- (1936): Petrological notes on some pyroxene-andesites from Hakone volcano, with special reference to some types with pigeonite phenocrysts.- Jap. J. Geol. Geogr., 13: 107 - 140.

-- (1969): Andesite in time and space.- Oregon Dept. Geol. Mineral. Ind. Bull., 65: 13 - 20.

KURODA, N. & PARIS, G. (1978): Petrographical notes on some dacites and andesites of Puracé volcano, Cauca, Colombia.- Rep. Andean Stud. Shizuoka Univ., spec. Vol., 21 - 32.

KUSHIRO, I. (1972): Effect of water on the composition of magmas formed at high pressures.- J. Petrol., 13: 311 - 334.

-- (1974): Melting of hydrous upper mantle and possible generation of andesitic magma: an approach from synthetic systems.- Earth and planet. Sci. Lett., 22: 294 - 299.

-- (1979): Fractional crystallization of basaltic magma.- In: YODER, H. S., Jr. (ed.): The evolution of the igneous rocks, 171 - 203.- Princeton University Press, Princeton/ New Jersey.

KUSHIRO, I. & KUNO, H. (1963): Origin of primary basalt magmas and classification of basaltic rocks.- J. Petrol., 4: 75 - 89.

KUSSMAUL, S., HÖRMANN, P. K., PLOSKONKA, E. & SUBIETA, T. (1977): Volcanism and structure of Southwestern Bolivia.- J. Volcanol. geotherm. Res., 2: 73 - 111.

LAMBERT, I. B. & WYLLIE, P. J. (1970): Melting in the deep crust and upper mantle and the nature of the low velocity zone.- Phys. Earth planet. Interiors, 3: 316 - 322.

LARSEN, E. S., IRVING, J., GONYER, F. A. & LARSEN, E. S., 3rd. (1936): Petrologic results of a study of the minerals from the Tertiary volcanic rocks of the San Juan region, Colorado.- Amer. Mineralogist, 21: 679 - 701.

-- , -- , -- & -- (1937): Petrologic results of a study of the minerals from the Tertiary volcanic rocks of the San Juan region, Colorado.- Amer. Mineralogist, 22: 889 - 905.

MACDONALD, G. A. (1968): Composition and origin of Hawaiian lavas.- Mem. geol. Soc. Amer., 116: 477 - 522.

MACDONALD, W. D. & HURLEY, P. M. (1969): Precambrian gneisses from Northern Colombia, South America.- Bull. geol. Soc. Amer., 80: 1867 - 1871.

MARSH, B. D. & CARMICHAEL, I. S. E. (1974): Benioff zone magmatism.- J. geophys. Res., 79: 1196 - 1206.

MCBIRNEY, A. R. (1969): Compositional variations in Cenozoic calc-alkaline suites of Central America.- Oregon Dept. Geol. Mineral. Ind. Bull., 65: 185 - 189.

MCNUTT, R. H., CROCKET, J. H., CLARK, A. H., CAELLES, J. C., FARRAR, E., HAYNES, S. J. & ZENTILLI, M. (1975): Initial $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios of plutonic and volcanic rocks of the Central Andes between latitudes 26° and 29° south.- Earth and planet. Sci. Lett., 27: 305 - 313.

MCTAGGERT, K. C. (1960): The mobility of nuées ardentes.- Amer. J. Sci., 258: 369 - 382.

MEISSNER, R. O., FLUEH, E. R., STIBANE, F. & BERG, E. (1976): Dynamics of the active plate boundary in southwest Colombia according to recent geophysical measurements.- In: ANDERSON, O. L. & BOLT, B. S. (eds.): Theory and experiment relevant to geodynamic processes.- Tectonophysics, 35: 115 - 136.

MIYASHIRO, A. (1974): Volcanic rock series in island arcs and active continental margins.- Amer. J. Sci., 274: 321 - 355.

MURCIA. L., L. A. & MARIN. R., P. A. (1980): Petrologia y petroquimica en lavas recientes de algunos volcanes en Colombia.- Popayan, INGEOMINAS.

MYSEN, B. O., KUSHIRO, I., NICHOLLS, I. A. & RINGWOOD, A. E. (1974): A possible mantle origin for andesitic magmas.- Earth and planet. Sci. Lett., 21: 221 - 229.

NAGAPETYAN, L. B. & LEBEDEV, Ye. B. (1975): A laboratory study of crystallization in volcanic rocks from the Ishkhanasar Intrusion.- Geochem. int., 12: 190 - 195.

NELSON, H. W. (1957): Contribution to the geology of the Central and Western Cordillera of Colombia in the sector Ibagué and Cali.- Leidse geol. Meded., 22: 1 - 75.

NICHOLLS, J. (1977): The activities of components in natural silicate melts.- In: FRAZER, D. G. (ed.): Thermodynamics in geology, 327 - 348.- Reidel Publishing Company, Dordrecht/Holland.

OCOLA, L. C., ALDRICH, L. T., GETTRUST, J. F., MEYER, R. P. & RAMIREZ, J. E. (1975): Project Nariño I: Crustal structure under southern Colombian - northern Ecuador Andes from seismic refraction data.- Bull. seismol. Soc. Amer., 65: 1681 - 1695.

O'HARA, M. J. (1965): Primary magmas and the origin of basalts.- Scott. J. Geol., 1: 19 - 40.

OPPENHEIM, V. (1950): The volcano Puracé.- Amer. J. Sci., 248: 171 - 179.

OSBORN, E. F. (1969): The complementariness of orogenic andesite and alpine peridotite.- Geochim. cosmochim. Acta, 33: 307 - 324.

OXBURGH, E. R. & TURCOTTE, D. L. (1970): Thermal structure of island arcs.- Bull. geol. Soc. Amer., 81: 1665 - 1688.

PATZAK, I. (1956): Über Sphärolithe in Obsidianen und künstlichen Gläsern.- N. Jb. Mineral., Mh., 1956: 101 - 107.

PAULO, A., NAREBSKI, W., BAKUN-CZUBAROW, N., PROCHAZKA, K. & WICHROWSKI, Z. (1979): Geology, geochemistry and petrogenesis of volcanics of Cotopaxi (Ecuador).- Prace mineral., 61: 1 - 62.

PEARCE, J. A. & CANN, J. R. (1973): Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses.- Earth and planet. Sci. Lett., 19: 290 - 300.

PECCERILLO, A. & TAYLOR, S. R. (1976): Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey.- Contr. Mineral. Petrol., 58: 63 - 81.

PFLEGHAAR, M. (in prep.): Die Gefüge der magmatischen Gesteine.- Bestandsaufnahme und Anwendung in der modernen Petrologie.- Diss. Univ. Tübingen.

PICHLER, H. (1981): Italienische Vulkan-Gebiete III. Lipari, Vulcano, Stromboli, Tyrrhenisches Meer.- Samml. geol. Führer, 69: 1 - 270.

PICHLER, H. & STENGELIN, R. (1977): Bestandsaufnahme petrochemischer Daten der Magmatite Mittelamerikas (Anforderungen und Möglichkeiten).- Giessener geol. Schr., 12 (Festschr. RICHARD WEYL): 253 - 284.

PICHLER, H. & WEYL, R. (1973): Petrochemical aspects of Central American magmatism.- Geol. Rdsch., 62: 357 - 396.

PICHLER, H. & ZEIL, W. (1969): Andesites of the Chilean Andes.- Oregon Dept. Geol. Mineral. Ind. Bull., 65: 165 - 174.

PLAS, L. van der & TOBI, A. C. (1965): A chart for judging the reliability of point counting results.- Amer. J. Sci., 263: 87 - 90.

POLDERVAART, A. & HESS, H. H. (1951): Pyroxenes in basaltic magma.- J. Geol., 59: 472 - 489.

RAASE, P. (1970): Eine einfache Methode zur Bestimmung der Auslöschungsschiefe von monoklinen Amphibolen und Pyroxenen.- Contr. Mineral. Petrol., 25: 133 - 137.

RAMIREZ, J. E. (1975): Los volcanes de Colombia.- Bull. volcanol., Suppl. 38: 44 - 55.

REISS, W. (1872): Mittheilungen des Herrn Reiss über eine Reise in Südamerika aus Briefen an die Herren G. Rose und Roth vom December 1871.- Z. dtsch. geol. Ges., 24: 377 - 384.

-- (1921): Reisebriefe aus Südamerika (1868 - 1876).- Wiss. Veröff. Ges. Erdkd., 9.

RINGWOOD, A. E. (1969): Composition and evolution of the upper mantle.- In: HART, P. (ed.): The earth's crust and upper mantle.- Amer. Geophys. Union Geophys. Monogr., 13: 1 - 17.

-- (1975): Composition and petrology of the earth's mantle.- McGraw-Hill, New York.

RITTMANN, A. (1973): Stable mineral assemblages of igneous rocks.- Springer, Berlin/ Heidelberg/ New York.

-- (1981): Vulkane und ihre Tätigkeit.- Enke, Stuttgart.

SCHMITT, C. (1981): Petrologische Untersuchungen känozoischer Bimsstein-Lagen in Ecuador.- Zbl. Geol. Paläont., Teil I, 1981: 260 - 267.

STIBANE, F. R. (1967): Paläogeographie und Tektogenese der kolumbianischen Anden.- Geol. Rdsch., 56: 629 - 642.

STORMER, J. C. & CARMICHAEL, I. S. E. (1970): The Kudo-Weill plagioclase geothermometer and porphyritic acid glasses.- Contr. Mineral. Petrol., 28: 306 - 309.

STRECKEISEN, A. (1980): Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites and melilitic rocks. IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks.- Geol. Rdsch., 69: 194 - 207.

STÜBEL, A. (1902): Über die Verbreitung der hauptsächlichsten Eruptionszentren und der sie kennzeichnenden Vulkanberge in Südamerika.- Peterm. geogr. Mitt., 48: 1 -9.

-- (1906): Die Vulkanberge von Colombia.- Baensch, Dresden.

TAYLOR, S. R. (1969): Trace element chemistry of andesites and associated calc-alkaline rocks.- Oregon Dept. Geol. Mineral. Ind. Bull., 65: 43 - 63.

TAYLOR, S. R., KAYE, M., WHITE, A. J. R., DUNCAN, A. R. & EWART, A. (1969): Genetic significance of Co, Cr, Ni, Sc and V content of andesites.- Geochim. cosmochim. Acta, 33: 275 - 286.

THIELMANN, M. (1879): Vier Wege durch Amerika.- Leipzig.

THORPE, R. S., POTTS, P. J. & FRANCIS, P. W. (1976): Rare earth data and petrogenesis of andesite from the north Chilean Andes.- Contr. Mineral. Petrol., 54: 65 - 78.

WEDEPOHL, K. H. (1975): The contribution of chemical data to assumptions about the origin of magmas from the mantle.- Fortschr. Mineral., 52: 141 - 172.

WEIBEL, M., FRANGIPANE-GYSEL, M. & HUNZIKER, J. (1978): Ein Beitrag zur Vulkanologie Süd-Perus.- Geol. Rdsch., 67: 243 - 252.

WELLS, P. R. A. (1977): Pyroxene thermometry in simple and complex system.- Contr. Mineral. Petrol., 62: 129 - 139.

WHITE, R. B. (1955): El Puracé. Sobre la explosión del 4 de octubre 1869.- Bol. Soc. geogr. Colombia, 13: 90 - 96.

WILKINSON, J. F. G. (1961): Some aspects of the calciferous amphiboles, oxyhornblende, kaersutite and barkevikite.- Amer. Mineralogist, 46: 340 - 354.

WINCHELL, A. N. (1945): Variations in composition and properties of the calciferous amphiboles.- Amer. Mineralogist, 30: 27 - 50.

WINKLER, H. G. F. (1976): Petrogenesis of metamorphic rocks.- Springer, New York/ Heidelberg/ Berlin.

WOLFF, F. v. (1929): Der Vulkanismus. II. Spezieller Teil: Die neue Welt (Pazifische Erdhälfte). Der pazifische Ozean und seine Randgebiete.- Enke, Stuttgart.

WOOD, B. J. & BANNO, S. (1973): The garnet-orthopyroxene-clinopyroxene relationships in simple and complex systems.- Contr. Mineral. Petrol., 42: 109 - 124.

WYLLIE, P. J. (1971): The dynamic earth.- Wiley, New York.

-- (1973): Experimental petrology and global tectonics- a preview.- Tectonophysics, 17: 189 - 209.

-- (1977): From crucible through subduction to batholiths.- In: SAXENA, S. K. & BHATTACHARJI, S. (eds.): Energetics of geological processes, 389 - 433.- Springer, Berlin/ Heidelberg/ New York.

-- (1979): Petrogenesis and the physics of the earth.- In: YODER, H. S., Jr. (ed.): The evolution of the igneous rocks, 483 - 520.- Princeton Univ. Press, Princeton/New Jersey.

-- (1981): Plate tectonics and magma genesis.- Geol. Rdsch., 70: 128 - 153.

WYLLIE, P. J. & HUANG, W. L. (1976 a): Carbonation and melting reactions in the system CaO - MgO - SiO_2 - CO_2 at mantle pressures with geophysical and petrological applications.- Contr. Mineral. Petrol., 54: 79 - 107.

-- & -- (1976 b): Does CO_2 cause partial melting in the low-velocity layer of the mantle? Comment.- Geology, 4: 712 - 787.

WYLLIE, P. J. & SCHREYER, W. (1976): Geophysical measurements and experimental petrology.- Tectonophysics, 32: 1 - 6.

YODER, H. S., Jr. (1969): Calcalkalic andesites: experimental data bearing on the origin of their assumed characteristics.- Oregon Dept. Geol. Mineral. Ind. Bull., 65: 77 - 89.

-- (1976): Generation of basaltic magmas.- National Academy of Sciences, Washington D. C.

YODER, H. S., Jr. & TILLEY, C. E. (1957): Basalt magmas.- Yb. Carnegie Instn. Washington, 56: 156 - 161.

-- & -- (1962): Origin of basalt magmas: an experimental study of natural and synthetic rock systems.- J. Petrol., 3: 342 - 532.

ZEIL, W. & PICHLER, H. (1967): Die känozoische Rhyolith-Formation im mittleren Abschnitt der Anden.- Geol. Rdsch., 57: 48 - 81.

ZUJOVIC, J. M. (1884): Les roches des Cordillères.- Paris.

LEBENSLAUF

10. 07. 1956:	geboren in Darmstadt-Eberstadt als Tochter des Karl Schmitt und der Helga Schmitt, geb. Uth
1963 - 1966:	Besuch der Grundschule in St. Georgen i. Schw.
1966 - 1975:	Besuch des mathematisch-naturwissenschaftlichen Gymnasiums in Achern/Baden
WS 1975/76:	Beginn des Studiums der Mineralogie an der Universität Tübingen
Februar 1978:	Vordiplomprüfung in Mineralogie
Herbst 1978:	Geländearbeiten in Ecuador und Süd-Kolumbien
Herbst 1979:	Beginn der Diplomarbeit mit dem Titel "Petrologische Untersuchungen an ecuadorischen Bimssteinen"
15. 10. 1980:	Abschluß der Diplomarbeit
30. 10. 1980:	Diplomprüfung in Mineralogie. Anschließend bei Prof. Dr. H. Pichler am Mineralogisch-Petrographischen Institut der Universität Tübingen Beginn der Dissertation mit dem vorliegenden Thema.
Herbst 1982:	Abschluß der Dissertation.

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren und Dozenten:

Mineralogie: Arndt, Bayh, v. Engelhardt, Friedrichsen, Lippmann, Pichler, Schock und Weiskirchner.

Geologie: Einsele, Loeschke, Neugebauer, Schönenberg, Seilacher, Wendt und Westphal.

Chemie: Ebert, Lindner, Pausewang und Strähle.

Physik: Brendle, Gönnenwein und Staudt.

Mathematik: Pommer.